

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Experimentální hodnocení stavu ostří nástrojů z nitridické keramiky
při nepravidelném přerušovaném řezu

Experimental Evaluation of Cutting Edge Tools of Silicon Nitride
Based Ceramics at Irregular Interrupted Cut

Student:

Bc. Rostislav Dobrozemský

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Rostislav Dobrozemský**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: Experimentální hodnocení stavu ostří nástrojů z nitridické keramiky při nepravidelném přerušovaném řezu
Experimental Evaluation of Cutting Edge Tools of Silicon Nitride Based Ceramics at Irregular Interrupted Cut

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Vliv tepelných a mechanických rázů na stav bříty.
3. Experimentální měření.
4. Diskuze výsledků experimentu.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

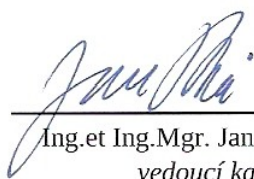
- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.
- [3] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petruš, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě15.5.2013.....

.....*Rostislav Dobrozemský*.....
Bc. Rostislav Dobrozemský

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:15.5.2013.....

.....*Rostislav Dobrozemský*.....

Bc. Rostislav Dobrozemský

Rostislav Dobrozemský

Plinkout 48

78386 Dlouhá Loučka

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DOBROZEMSKÝ, R. *Experimentální hodnocení stavu ostří nástrojů z nitridické keramiky při nepravidelném přerušovaném řezu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 53 s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Diplomová práce je zaměřena na testování vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky a jejich životnost v nepravidelném přerušovaném řezu. Úvod práce zahrnuje základní informace o mechanických a tepelných rázech na stav břitu nástroje. Dále je rozvedena problematika mechanismy, formy a kritéria opotřebení řezných nástrojů. Samostatná kapitola řezná keramika se zabývá její výrobou, dělením a vlastnostmi. Praktická část zahrnuje informace o metodě a postupu měření, použitých keramických řezných nástrojích a obráběných materiálech. V poslední části diplomové práce jsou zpracované výsledky ve formě tabulek a grafů. Výsledky jsou doplněné fotografiemi opotřebovaných vyměnitelných destiček. Z výsledků je vyvozen závěr a doporučení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DOBROZEMSKÝ, R. *Experimental Evaluation of Cutting Edge Tools of Silicon Nitride Based Ceramics at Irregular Interrupted Cut: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining and assembly, 2013, 53 p. Head of Master thesis: doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

The diploma thesis is focused on testing of the ceramic cutting inserts and their resistance to irregular interrupted cutting. The introduction of thesis includes basics information about mechanical and thermal shock resistance of cutting edge. Then include mechanisms, forms and criteria wear of cutting tools. The chapter of cutting ceramics is interested about their production, type of ceramic, and their properties. The practical part includes information about method and procedure of experiment, describe used ceramics cutting tools and material. The last part of diploma thesis includes the results in form of tables and graphs. The result also includes photography of used cutting tools. From the results it is concluded and recommendations.

OBSAH

	strana
SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1. ÚVOD	9
2. Vliv tepelných a mechanických rázů na stav bříty	10
2.1 Tepelné a mechanické rázy	10
2.1.1 Vznik rázů	10
2.1.2 Mechanické rázy	10
2.1.3 Tepelné rázy	11
2.1.4 Cyklické změny teploty při přerušovaném řezu	11
2.1.5 Teplota řezání.....	12
2.1.6 Kmitání soustavy obrábění	13
2.2 Opotřebení bříty nástroje	14
2.2.2 Formy opotřebení nástroje	16
2.2.3 Možné formy opotřebení bříty nástroje a jejich opatření:	17
2.2.4 Kritéria opotřebení	19
2.2.5 Opotřebení bříty nástrojů z řezné keramiky	20
3. Řezná keramika.....	22
3.1 Vlastnosti nástrojů z řezné keramiky	22
3.2 Dělení řezné keramiky	23
3.3 Oxidová řezná keramika	23
3.4 Nitridová řezná keramika.....	25
4. Experimentální měření.....	29
4.1 Testování VBD podélným soustružením	29
4.2 Příprava měření	31
4.3 Materiál vyměnitelných lišt	31
4.4 Obráběcí stroj	33
4.5 Vyhodnocovací zařízení.....	33
4.6 Testované VBD.....	34

4.7 Řezné parametry	35
4.8 Řezná geometrie	36
5. Vyhodnocení experimentu.....	36
5.1 Obrobená délka a počet rázů	36
5.2 Zpracování výsledků	37
5.2.1 Výsledky hodnot naměřených na obráběném materiálu 15 128 (13MoCrV6) ..	38
5.2.2 Výsledky hodnot naměřených na obráběném materiálu 12 050 (C45)	40
5.4 Fotografie opotřeбенých VBD	42
6. Porovnání a zhodnocení testovaných VBD a materiálů	46
7. Závěr	49
8. Použitá literatura	52

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
A5	Tažnost krátké tyče (dle EN 10002)	[%]
CSNRN	Označení tvaru a druhu držáku	[-]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
G	Modul pružnosti ve smyku	[MPa]
GAČR	Grantová agentura České republiky	[-]
HB	Tvrdost podle Brinella	[-]
HIP	Vysokoteplotní izostatické lisování	[-]
HPSN	Lisování za vysokých teplot	[-]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
IS8	Druh nitridové řezné keramiky od výrobce Iscar	[-]
R	Počet rázů	[-]
R _m	Mez pevnosti	[MPa]
R _{p 0,2}	Smluvní mez kluzu při prodloužení 2%	[MPa]
ŘK	Řezná keramika	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
Whisker	Krystalické vlákno s vysokým poměrem délky k tloušťce	[-]

Al_2O_3	Oxid hlinitý	[-]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
f	Posuv nástroje	[mm]
l	Obrobená délka	[mm]
n	Otáčky vřetene	$[\text{min}^{-1}]$
Si_3N_4	Nitrid křemíku	[-]
v_c	Řezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$

1. ÚVOD

Výrobní technologie se neustále zdokonalují a uzpůsobují se tlaku společnosti na intenzivnější výrobu. S tím souvisí i zvyšování nároků na řezné nástroje. Již delší dobu máme k dispozici široký sortiment řezných nástrojů z různých materiálů. Každý řezný materiál má svoje specifické vlastnosti a tím i odlišnou oblast použití. V nejbližší době se nepředpokládá objevení nových řezných materiálů a z toho důvodu se výzkum zabývá zdokonalováním již známých materiálů a snaží se rozšiřovat oblast jejich použití. S novými výrobními technologiemi souvisí i výroba stále složitějších a výrobně náročnějších součástí. Mezi výrobně náročnější součásti můžeme řadit i součásti, kde se musí obrábět přerušovaným řezem, který je náročný nejen na řezný nástroj, ale i pro celou soustavu stroj-nástroj-obrobek-přípravek. Jako příklad přerušovaného řezu můžeme brát frézování, ale také soustružení nerovných polovýrobků, několikahraných polotovarů, zubových spojek, drážkovaných hřídelů, tvarových odlitků apod.

Při přerušovaném řezu nástroj opakovaně vchází a vychází z obráběného materiálu. Při tomto procesu se řezná síla při nárazu do obrobku mění z nulové na maximální hodnotu a prudce se mění teplota v kontaktu čela nástroje a třísky. Při záběru nástroje s obrobkem místě kontaktu mohou vznikat i teploty dosahující 800°C a mimo záběr se nástroj prudce ochlazuje proudem vzduchu. Především při soustružení přerušovaným řezem se nedoporučuje chlazení, protože procesní médium zvětšuje tepelné rázy. Jako vhodný řezný nástroj mohou být použité i vyměnitelné břitové destičky (VBD) z řezné keramiky. Řezná keramika v posledních letech zaznamenala značný nárůst pevnosti, má vysokou odolnost proti teplotním rázům a používá se převážně bez procesního média.

Tato práce se zabývá testováním VBD z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu na dvou různých materiálech. Materiály ve formě lišt se vkládají do přípravku, který byl vyroben za účelem testování řezných nástrojů v laboratořích katedry obrábění a montáže VŠB-TU Ostrava v rámci grantového projektu GAČR č. 101/93/0129. Kromě určení vhodnosti vybraného typu VBD pro určitý materiál se práce zabývá opotřebením VBD, zkoumáním vlivu počtu rázů na VBD vkládáním rozdílného počtu lišt do přípravku.

2. Vliv tepelných a mechanických rázů na stav břitu

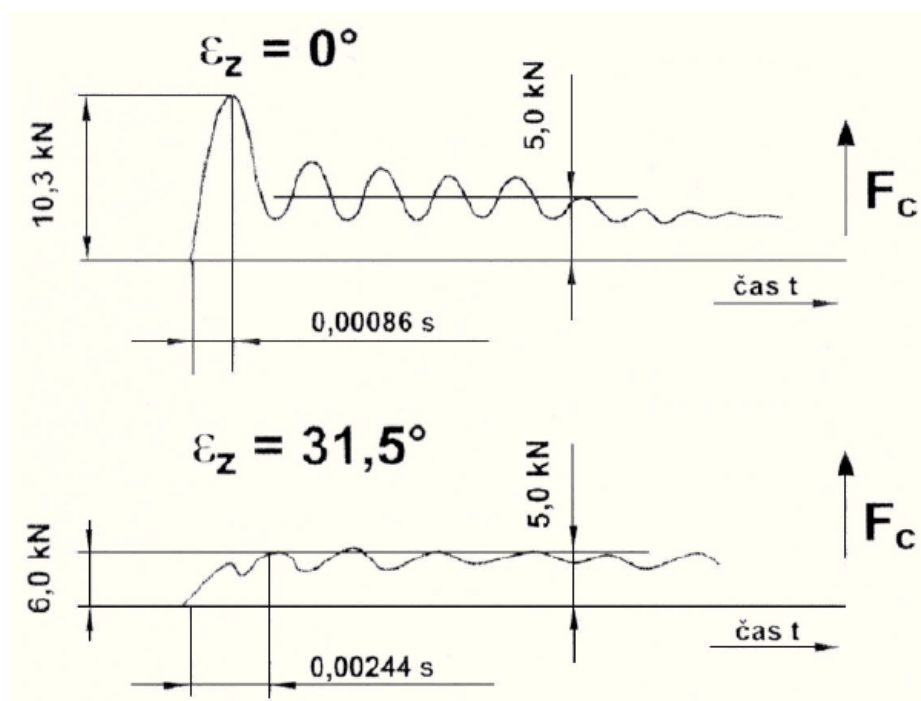
2.1 Tepelné a mechanické rázy

2.1.1 Vznik rázů

Při přerušovaném řezu (plocha přerušená otvorem nebo drážkou), ale i při nepřerušovaném (plynulém) soustružení (či frézování) dochází v důsledku cyklického namáhání k porušení břitu, a to především lomem nebo vydrolením. [2]

2.1.2 Mechanické rázy

Mechanický ráz vzniká při vnikání břitu do obrobku. Jakmile břit nástroje vnikne do obrobku, tak se krátkodobě zvětší hodnota především hlavní složky řezné síly, která může dosáhnout až násobku její střední hodnoty po vřezání břitu do obrobku. Velikost nárůstu je závislá na době vniknutí břitu do obrobku, přičemž doba vnikání závisí na vzájemné poloze povrchu obrobku a čela nástroje. Největší nárůst řezné síly nastane v případě, že dojde k prvnímu kontaktu mezi břitem nástroje a obrobku v celém průřezu třísek najednou (doba vzniku nástroje do obrobku je teoreticky nulová). Aby se dosáhlo menšího nárůstu řezné síly, tak musí být plynulejší vřezávání břitu na plný průřez třísky. Mechanické rázy mohou především způsobovat křehké porušení břitu na čele vyměnitelných břitových destiček, a to především v případě, že k prvnímu kontaktu s obrobkem dochází na špičce vyměnitelné břitové destičky. [2]



Obr. 2.1 Graf závislosti hlavní složky řezné síly na čase a úhlu záběru [3]

Z grafu na obr. 2.1 je vidět porovnání velikosti řezných sil, kdy v prvním případě byl úhel záběru $\varepsilon_z = 0^\circ$ a došlo ke vzniku břitů v celém průřezu třísky naráz. V druhém případě byl úhel záběru $\varepsilon_z = 31,5^\circ$ a břit vnikl do obrobku za čas $t = 0,00244\text{ s}$. Řezná síla v prvním případě byla téměř dvojnásobná (mechanický ráz byl podstatně vyšší) oproti hodnotám z druhého případu. Měření proběhlo na oceli 12060.1 při řezné rychlosti $v_c = 70\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, posuvu $f = 0,5\text{ mm}$ a hloubce řezu $a_p = 5\text{ mm}$. [2]

2.1.3 Tepelné rázy

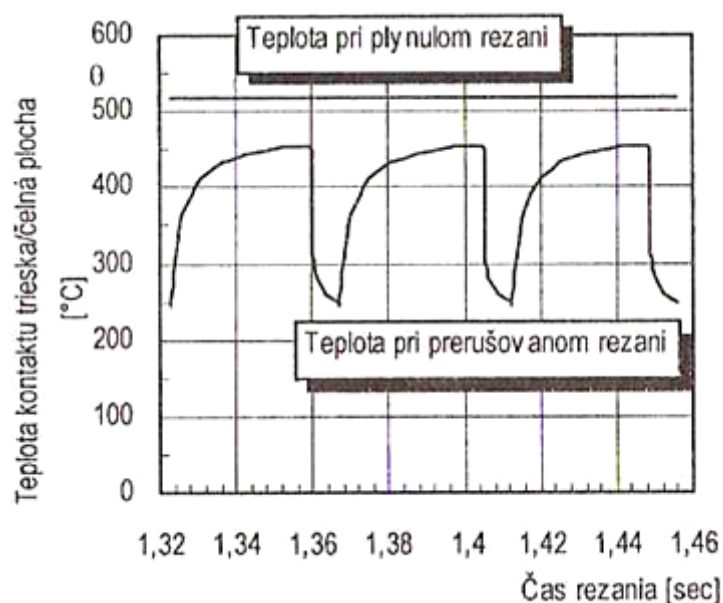
Tepelné rázy jsou způsobené cyklickým teplotním namáháním břitu. Mění se fáze řezání způsobuje to, že při vzniku do obrobku dojde k ohřevu břitu a při výstupu z řezu dojde k jeho následnému ochlazení. Tyto rázy vyvolává střídavé tahové a tlakové napětí v povrchových vrstvách vyměnitelných břitových destiček. Cyklické změny napětí mohou způsobit mikroskopické trhlinky v oblasti ostří a ty mohou způsobit křehké porušení břitu. Tlakové napětí vzniká od povrchových chladnějších vrstev, které brání prodloužení ohřátých vrstev z místa vnikání břitu do obrobku. S rostoucí vzdáleností od povrchu se tlakové napětí mění v tahové. Jakmile břit vyjede ze záběru, tak se intenzivně ochladí povrchové vrstvy. Vzdálenější vrstvy se neochladí tak intenzivně jako vrstvy na povrchu a tím dojde k nárůstu tahového napětí, které se v určité vzdálenosti od povrchu změní v tlakové. Toto kolísání napětí může v kombinaci s napětím vyvolaným mechanickými rázy způsobit vznik trhlin a křehké porušení břitu. [2]

2.1.4 Cyklické změny teploty při přerušovaném řezu

Při plynulém řezání se vznik tepla považuje za ustálený proces. U přerušovaného řezání je přírůstek teploty závislý na čase a to z toho důvodu, že řezná hrana odebrává hloubku odřezávané vrstvy na určité dráze, pak odejde ze záběru a znovu řeze při tvorbě tepla. [6]

V kontaktu třísky/plocha řezného klínu se teplotní pole při plynulém řezání s časem nemění a proto libovolný bod z tohoto pole vykazuje nezávislou hodnotu okamžité teploty. Při přerušovaném řezu libovolný bod kontaktu třísky/čelní plocha řezného klínu vykazuje v čase záběru hromadící se nárůst teploty a s tím spojené zahřívání klínu. Při vyjetí ze záběru nastane okamžitá změna teploty ochlazením řezné hrany. Přestože se střídá zahřívání a ochlazování hrany, tak maximální okamžitá teplota v daném kontaktu nikdy nedosahuje hodnoty okamžité teploty jako při řezání plynulém. Hodnota maximální teploty v kontaktu

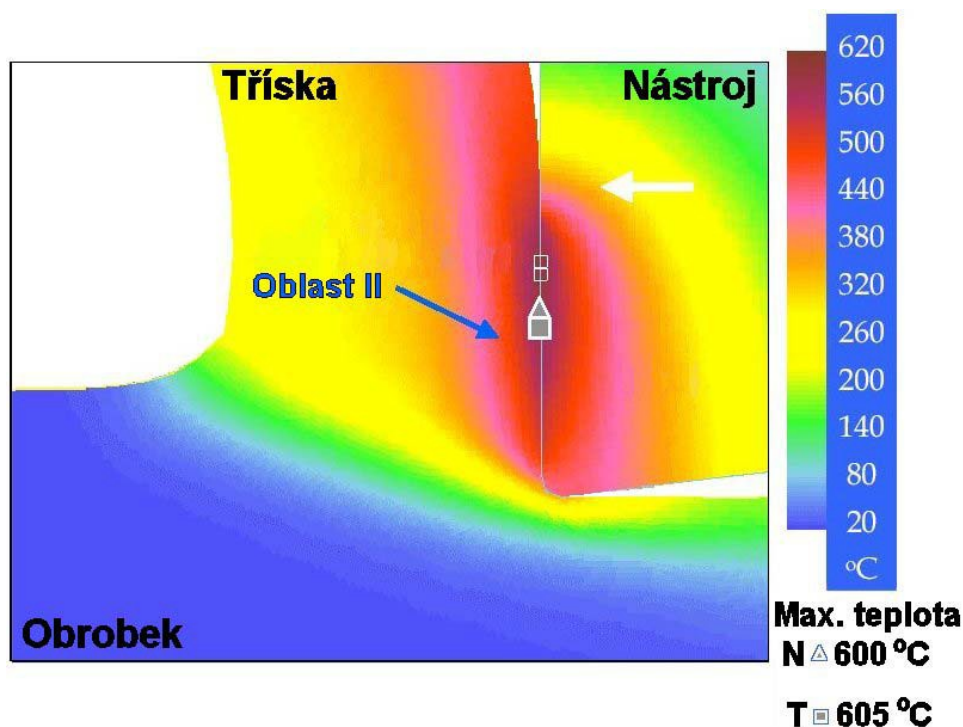
třísky/čelní plocha řezného klínu a perioda zahřívání a ochlazování závisí také na řezné rychlosti (s nižší řeznou rychlostí se perioda prodlužuje). [6]



Obr. 2.2 Přerušované řezání při soustružení trubice s výřezy: porovnání průběhu teplot při plynulém a přerušovaném řezání [6]

2.1.5 Teplota řezání

Teplota v zóně řezání závisí především na kontaktu třísky a nástroje, velikosti řezných sil a třecích procesech mezi materiálem obrobku a břitem nástroje. Pokud se obrábí nízkými řeznými rychlostmi, tak maximální teplota je na špičce nástroje. V opačném případě (při obrábění vyššími řeznými rychlostmi) je maximální teplota v určité vzdálenosti od ostří nástroje. Teploty na styku čela nástroje a třísky se mohou pohybovat až kolem 1200 °C. Měří se pomocí různých termočlánků, přičemž se termočlánek snažíme umístit co nejblíže ke stykové ploše nástroje a třísky. [4]



Obr. 2.3 Teplotní pole nástroje a obrobku [4]

2.1.6 Kmitání soustavy obrábění

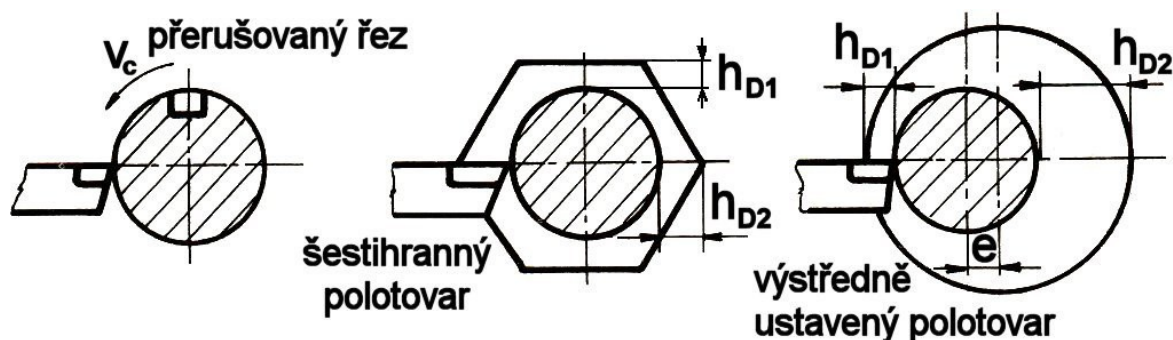
Obráběcí systém skládající se z obráběcího stroje, nástroje a obrobku má složité dynamické charakteristiky a proto v průběhu řezného procesu téměř vždy vzniká kmitání. Kmitání jednotlivých prvků zhoršuje kvalitu obrobené plochy (vlnitost, zhoršená drsnost povrchu). Dále pak kmitání zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje (např. vylamování břitu), ale také urychluje opotřebení obráběcího stroje a zhoršuje pracovní prostředí (např. vysokým hlukem). Kmitání rozlišujeme z hlediska působení vnějších sil a impulsů na vlastní, vynucené a samobuzené. Obrábění v přerušovaném řezu řadíme do vynuceného kmitání soustavy. [4]

Samobuzené kmitání vzniká bez periodického vnějšího budícího účinku. Periodičnost kmitání závisí pouze na vlastnostech kmitající soustavy. Toto kmitání může vyvolat např. uvolnění nárůstku z nástroje nebo náraz nástroje do vměstku v obrobku. [4]

Vlastní kmitání způsobuje kmitání částí soustavy s vlastními kmity a vlastní frekvencí. Kmitání vyvolá např. ráz (záběrem nástroje nebo zapnutím spojky). Tyto kmity se obvykle zanedbávají, protože se udržují působením pružných sil a vlivem odporů se utlumí. [4]

Vynucené kmitání vznikne působením periodicky se měnící budící síly a s touto silou se často shoduje i frekvence kmitání. Může být takové, které: [4]

- není vyvolané řezným procesem, ale vychází z technologické soustavy (rotace nesymetrických součástí, nevyváženost rotujících součástí apod.)
- je vyvolané vlastním řezným procesem (přerušovaný řez nebo kolísání hloubky řezu (soustružení mnohostranu))
- je přenášeno do technologické soustavy z okolí.



Obr. 2.4 Vynucené kmitání vyvolané řezným procesem [4]

2.2 Opotřebení břitu nástroje

Strojní součásti, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu se opotřebovávají. Opotřebení nástroje je složitý děj a závisí na faktorech jako např. na pracovních podmínkách, řezném prostředí, druhu obráběcí operace, fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu atd. [4]

V průběhu opotřebovávání působí na nástroj mnoho odlišných fyzikálně-chemických jevů, které se nazývají mechanismy opotřebení. Mechanismy jako abraze a adheze jsou způsobeny fyzikálním opotřebením, difúze a oxidace chemickým opotřebením. Všechny tyto čtyři mechanismy však působí v průběhu času plynule, na rozdíl od plastické deformace a křehkého lomu, které působí náhle a často způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje. Abraze a oxidace často způsobí opotřebení hřbetu nástroje. Čelo nástroje nejvíce opotřebovává kromě abraze a oxidace také adheze a difúze. [4]

2.2.1 Základní mechanismy opotřebení nástroje

- abraze
 - velmi časté opotřebení, způsobují ho především tvrdé mikročástice v materiálu obrobku a mikročástice uvolněné z nástroje, které způsobují brusný otěr. Čím

větší bude tvrdost bříty nástroje (hustší strukturu tvrdých částic), tím větší bude jeho schopnost odolávat abrazivnímu opotřebení. [1,4]

- **adheze**

- vzniká především u nízkých teplot obrábění a nižších řezných rychlostech na čele nástroje v kombinaci s působením tlaku, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů. Jedná se o vytváření nárůstků mezi třískou a břítem nástroje. Nárůstky se na sebe navažují a následně se porušují, což vede k vytvoření velkých nárůstků nebo k vydrolování či výlomu ostří. Některé materiály náchylné ke zpevňování za studena jako např. austenitické korozivzdorné oceli jsou na toto opotřebení náchylnější. Opotřebení tohoto typu se projevuje často jako žlábkové. [1,4]

- **difúze**

- pro toto opotřebení jsou rozhodující chemické vlastnosti nástrojového materiálu a jeho afinita k materiálu obrobku, ale také teplota řezání. Atomy nástrojového materiálu a materiálu obrobku navzájem difundují (pronikají z obrobku do nástroje a naopak) a tak vytvářejí tuhé roztoky a chemické sloučeniny svými vlastnostmi odlišné o výchozího materiálu nástroje. U vysokých řezných rychlostí se největší žlábek vytvoří na čele nástroje. Nejvíce náchylné na toto opotřebení jsou nástroje z diamantu při obrábění kovů. [1,4,5]

- **oxidace**

- dochází k ní při vysokých teplotách (vyšších řezných rychlostech), kdy částice nástroje chemicky reagují s částicemi kyslíku s okolní atmosférou, případně z obráběného materiálu. Vzduch vstupuje do řezného procesu především v místě kontaktu bříty s obráběným materiálem, kde končí šírka třísky. V takovém případě jako důsledek opotřebení oxidací vznikají žlábkové na nástroji. [1,5]

- **plastická deformace**

- způsobuje jí vysoké tepelné a mechanické zatížení hromadící se s průběhem času. Jinými slovy při vysokých řezných rychlostech a posuvech nástroje. Nejhorším typem tohoto typu opotřebení je tzv. "lavinové opotřebení". [4,5]

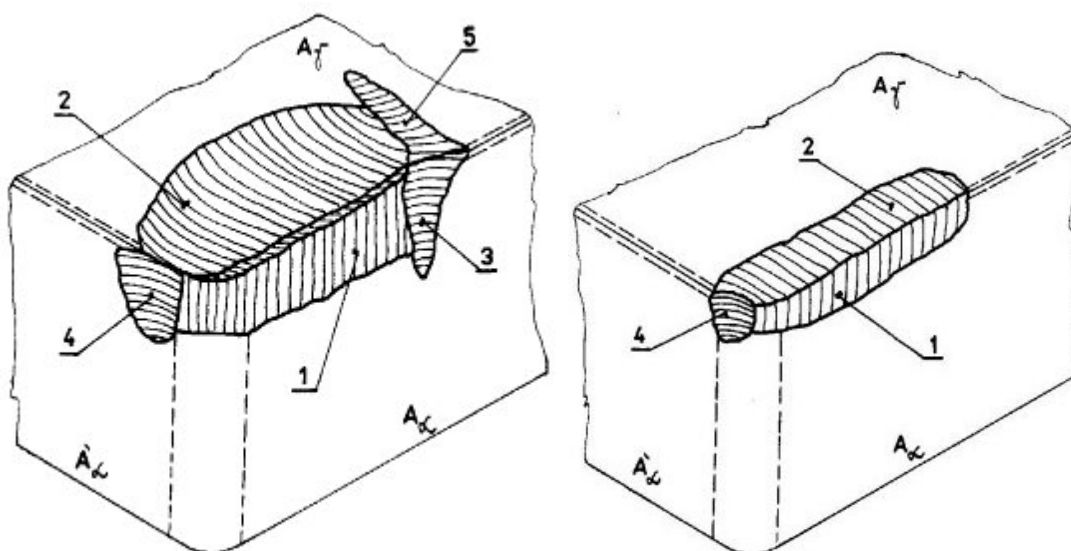
- **křehký lom**

- vyvolává ho vysoké mechanické nebo termomechanické zatížení jako např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu. Zatížení vysokými řeznými silami a kolísání teplot způsobují vydrolování ostří a mohou vést až k lomu řezného nástroje. Většinou vyvolávají lom materiály s vysokou tvrdostí a pevností, a to buď obráběný materiál nebo přímo řezný nástroj. Lom může nastat i u křehkých materiálů, u kterých působí vysoké teploty. Vysoká teplota vyvolá plastickou deformaci, změni geometrii a v kombinaci s vysokými řeznými rychlostmi způsobí lom nástroje a tím ukončí řezný proces. [1,4]

2.2.2 Formy opotřebení nástroje

Důsledek působení mechanismů vyvolávající opotřebení se projevuje na řezných nástrojích v různých formách a na různých materiálech mírně odlišně, jak je vidět na obr. 2.5, kde:

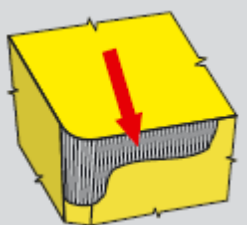
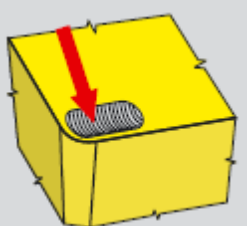
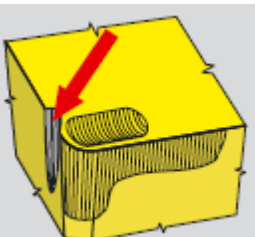
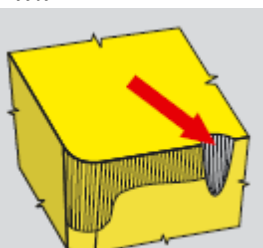
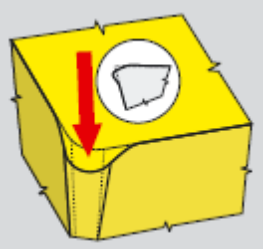
1. řezná rýha na hřbetě
2. výmol na čele
3. primární hřbetní rýha
4. sekundární (oxidační) hřbetní rýha
5. rýha na čele

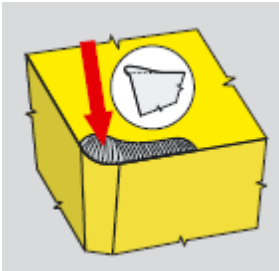
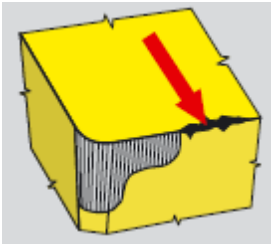
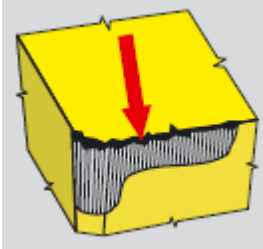
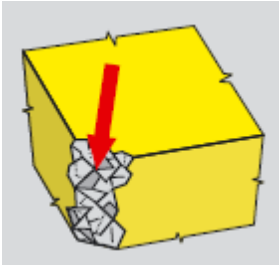
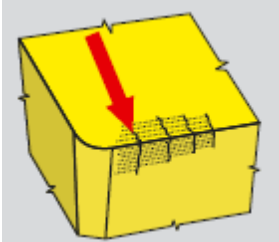


a) Formy opotřebení břitu nástroje z SK b) Formy opotřebení břitu nástroje z RK

Obr. 2.5 Porovnání forem opotřebení břitu nástroje ze slinutého karbidu (a) a řezné keramiky (b) [4]

2.2.3 Možné formy opotřebení bříty nástroje a jejich opatření: [5]

Název a charakter opotřebení	Popis opotřebení	Návrh opatření
Opotřebení hřbetu 	Vzniká v důsledku působení mechanismů opotřebení na nástroj	Použít odolnější typ VBD
		Snížit řeznou rychlost
		Při posuvu pod 0,1 mm zvýšit posuv
Výmol na čele 	Charakteristické opotřebení, nejvíce se projevuje u VBD s rovným čelem	Použít otěruvzdornější typ VBD
		Snížit řeznou rychlost
		Použít jiný (pozitivnější) typ řezné geometrie
Oxidační rýha na vedlejším břítu 	Jedno z kritérií, které zásadně ovlivňuje životnost VBD. Pokud se rýha propojí s výmolem na čele, způsobí výrazné zhoršení kvality obráběné plochy	Použít otěruvzdornější typ VBD
		Snížit řeznou rychlost
Vrubové opotřebení na hlavním břítu 	Vzniká v oblasti styku bříty nástroje s povrchem obrobku. Způsobují ho např. zpevněné vrstvy v obrobku nebo otřepy. Objevuje se při obrábění nerezavějících austenitických ocelí a u operací s nekonstantní hloubkou třísky	Použít otěruvzdornější typ VBD
		Použít nástroj s menším úhlem nastavení
Plastická deformace špičky 	Vzniká přetížením bříty vlivem vysokých řezných rychlostí a posuvů	Použít otěruvzdornější typ VBD
		Snížit řeznou rychlost
		Snížit posuv
		Použít VBD s větším poloměrem zaoblení špičky
		Použít VBD s větším úhlem špičky

Tvorba nárůstků 	<p>Nárůstky jsou nalepené vrstvy obráběného materiálu na břitu nástroje, mají charakter mikronávaru. Mikronávary se odtrhávají, porušují břit a zhoršují kvalitu obráběné plochy</p>	Zvýšit řeznou rychlost
		Zvýšit posuv
		Použít pozitivnější (ostřejší) řeznou geometrii
Porušování řezné hrany mimo záběr 	<p>Hranu porušují třísky, které jsou nevhodně utvářeny. Při svém odchodu naráží na břit, který mechanicky poškozují</p>	Změnit posuv
		Zvolit nástroj s jiným úhlem nastavení
		Použít jinou řeznou geometrii nebo jiný utvařec třísek
		Použít houževnatější typ VBD
Křehké porušování řezné hrany 	<p>Tzv. mikrovystipování se většinou vyskytuje s jiným typem opotřebení, samostatně se těžko identifikuje</p>	Použít houževnatější typ VBD
		Zvolit méně intenzivní řezné podmínky
		Použít jinou řeznou geometrii
		Při najíždění do záběru zmenšit posuv
Destrukce břitu (špičky nástroje) 	<p>Destrukci způsobují různé příčiny závislé na materiálu obrobku i nástroje, stavu a tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek, záběrové podmínky atd.</p>	Při najíždění do záběru zmenšit posuv
		Zvolit nižší řezné podmínky (posuv i hloubku)
		Použít VBD s větším poloměrem zaoblení špičky
		Použít VBD s větším úhlem špičky
		Použít houževnatější typ VBD
Hřebenové trhliny 	<p>Vznikají při přerušovaném řezu vlivem dynamického tepelného zatížení</p>	Použít houževnatější materiál VBD
		Snížit řeznou rychlost

2.2.4 Kritéria opotřebení

Opotřebení řezného nástroje lze také charakterizovat podle kritérií, jako jsou délkové charakteristiky, nebo objem či hmotnost opotřebovaného materiálu. [1]

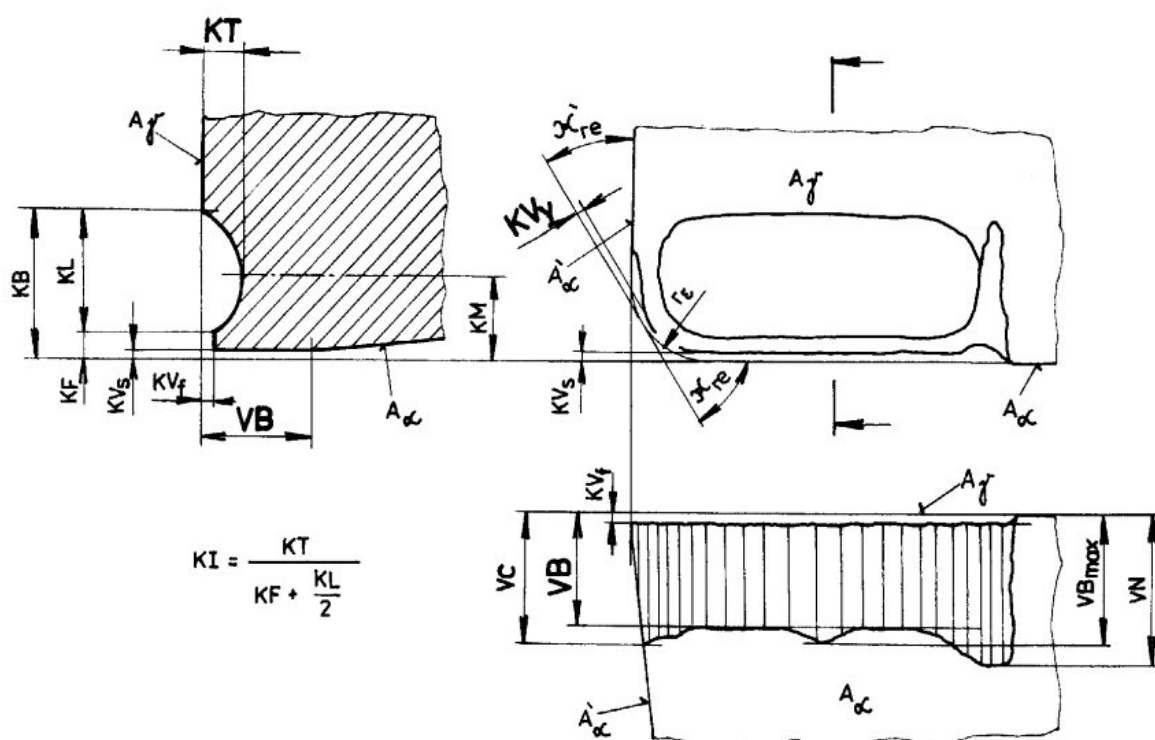
Příklady kritérií opotřebení řezného nástroje: [1]

VB - šířka fazetky opotřebení na hřbetě

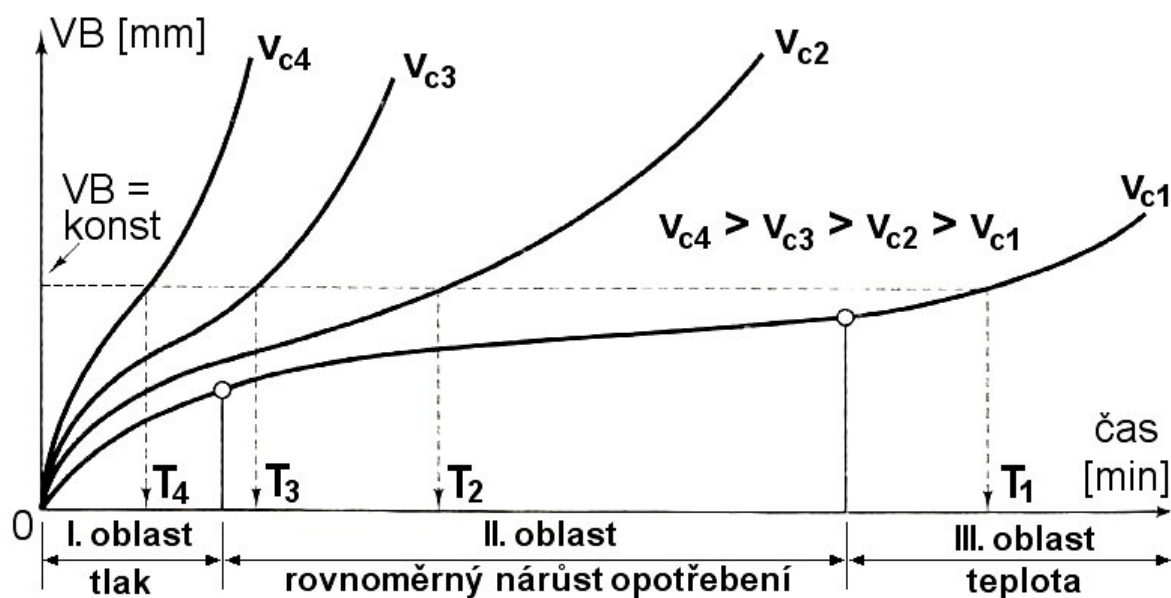
KT - hloubka výmolu na čele

KV_y - radiální opotřebení špičky

VB_C (VC), VB_B (VB), VB_{B max} (VB_{max}), VB_N (VN) - kritéria opotřebení na hřbetě



Obr. 2.6 Kritéria opotřebení řezného nástroje [4]



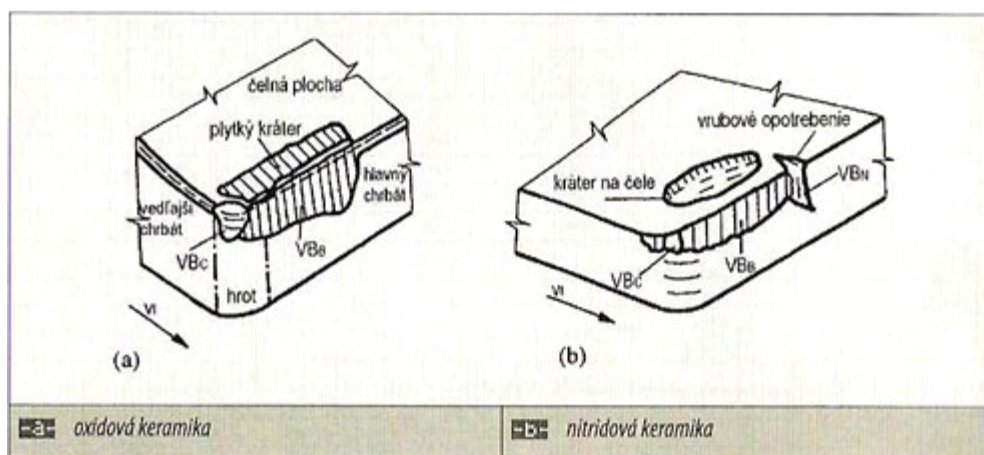
Obr. 2.7 Časový průběh opotřebení na hřbetě VB [mm] pro různé řezné rychlosti v_c [$m \cdot \min^{-1}$] [4]

Hodnota opotřebení by se měla pohybovat maximálně v rozmezí 0,2 až 0,8 mm. V grafu na obr. 2.7 vidíme, že průběh opotřebení lze rozdělit na 3 oblasti, kde: [4]

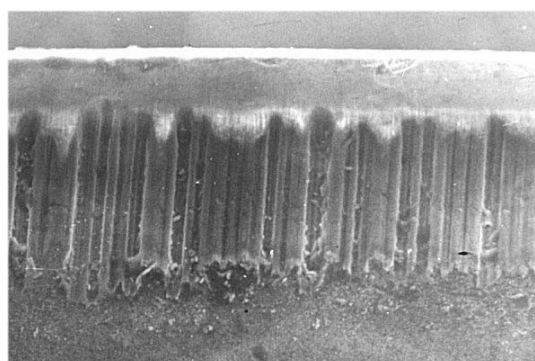
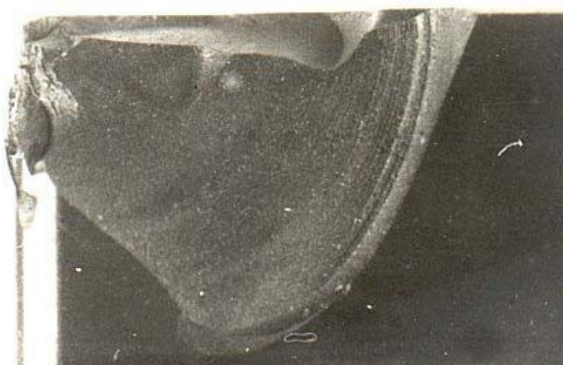
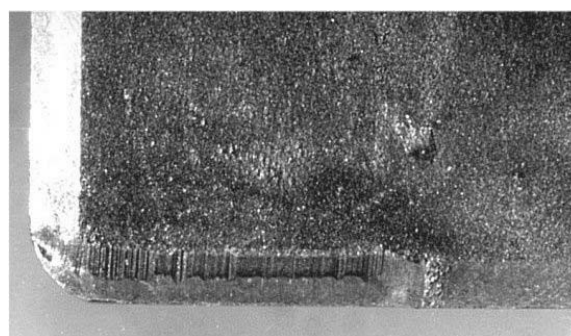
- oblast I.* - největší nárůst opotřebení vzniká vlivem velkého měrného tlaku na malé stykové ploše přechodové plochy obrobku a hřbetu nástroje
- oblast II.* - rovnoměrný nárůst při působení základních mechanismů opotřebení
- oblast III.* - zde má největší vliv vysoká teplota, která se nahromadila a nyní intenzivně opotřebovává nástroj

2.2.5 Opotřebení bříty nástrojů z řezné keramiky

U nástrojů z řezné keramiky převládá kombinace opotřebení vlivem vysokého mechanického a tepelného zatížení. Mechanické zatížení vede k abrazivnímu opotřebení (odbrušování a vylamování částic ze hřbetu a čela nástroje) a tepelné namáhání způsobuje tvorbu a šíření trhlin v čele nástroje, které jsou rovnoběžné z řeznou hranou. Tepelné zatížení znásobuje účinky mechanické, což vede k chemickému opotřebení. Nelze tedy přesně předpovědět, jak se bude keramický řezný materiál chovat a jaké bude jeho opotřebení (vyjma destrukce - křehkého lomu). [8]



Obr. 2.8 Formy opotřebení oxidové a nitridové keramiky [8]

Obr. 2.9 Hřebenové trhliny na čele nástroje
řezné keramiky Al_2O_3 [4]Obr. 2.10 Abrasně opotřeбенý hřbet z
nástroje z řezné keramiky [4]Obr. 2.11 Křehký lom nástroje z řezné
keramiky $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ [4]Obr. 2.12 Opotřebení na čele destičky z
řezné keramiky [4]

3. Řezná keramika

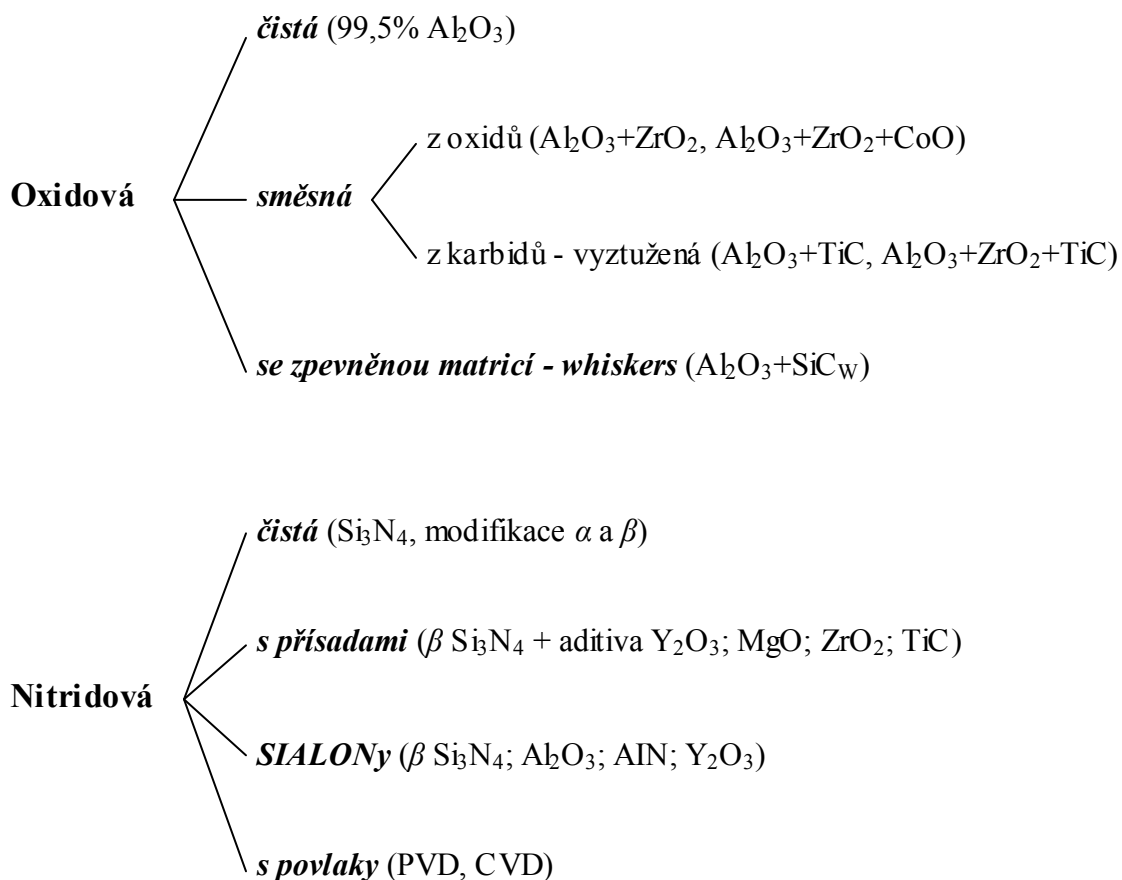
Jedná se o „převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru“. Definice se shoduje jak s běžnou keramikou (porcelán, cement, cihly), tak i s řadou brousících materiálů a speciálních, konstrukčních, strojnických apod. keramických látek. Tyto keramické látky jsou vyráběny z velmi čistých surovin a mají převážně látky krystalické, oproti „běžné“ keramice, která často obsahuje skelné (amorfni) fáze. Do těchto „speciálních“ keramických látek pak řadíme např. oxidovou keramiku (Al_2O_3 , ZrO_2 , ThO_2 , BeO , UO_2 , MgO), nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B), ferity, boridy (na bázi Ti), feroelektrika atd. [10]

Vybrané keramické materiály se používají k výrobě keramických řezných nástrojů. Neustále se vyvíjí a zdokonalují. Nástroje z řezné keramiky se používají všude tam, kde lze využít jejich vlastností (aplikace tepelné, mechanické, fyzikální a chemické, elektrotechnika, elektronika, medicína a stavebnictví). [10]

3.1 Vlastnosti nástrojů z řezné keramiky [10]

- vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci
- vysoká chemická stabilita, inertnost vůči obráběnému materiálu
- odolnost vůči mechanickému namáhání (především tlakem)
- vysoká odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi (vysoká řezivost a trvanlivost)
- vysoká teplotní stabilita
- nízká měrná hmotnost
- relativně nízká cena
- snadná dostupnost základních surovin pro výrobu

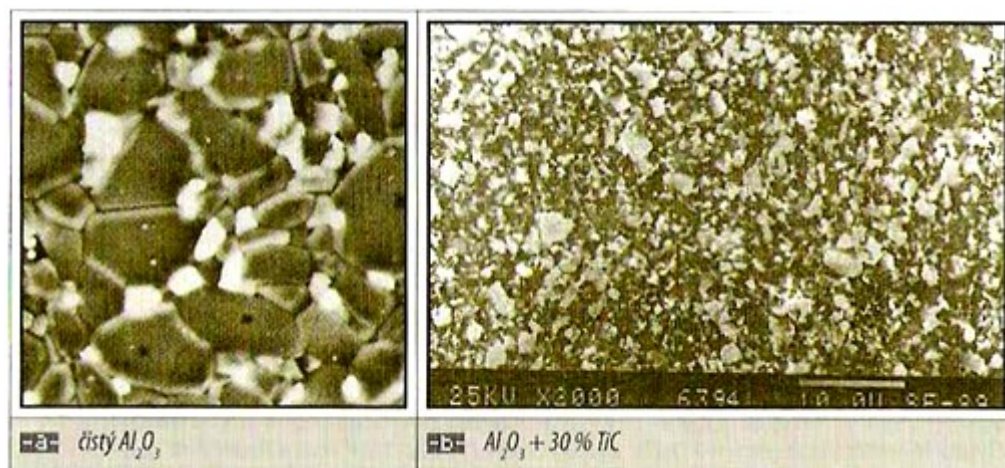
3.2 Dělení řezné keramiky [8,9,6]



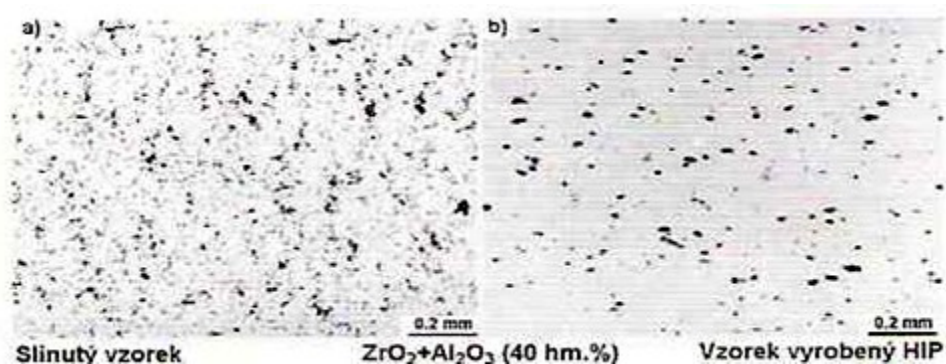
3.3 Oxidová řezná keramika

Základní složkou je jemnozrnný oxid hlinitý Al_2O_3 , který se vyrábí z bauxitu Bayerovou metodou (čistota produktu až 99,9%). Do čistého oxidu se přidávají v nepatrném množství látky, které usnadňují slinování a brání růstu zrna. Mokrý směr se semele a vysuší, tím vznikne prášek připravený na lisování, do kterého se smí přidat další přísady usnadňující další postup zpracování. [10]

Lisování se používá izostatické, vstřikovací nebo se používá extruze (vytláčení tvarových tyčí s tvarem vyměnitelných břitových destiček, které se po slinutí rozřežou diamantovými pilkami na jednotlivé kusy). Po vylisování se destičky slinují (spečou) v pecích a následně vybrousí na dané rozměry. [10]

Obr. 3.1 Struktura oxidické keramiky Al₂O₃ [8]

K vylepšení vlastností se používá vysokoteplotní izostatické lisování (tzv. HIP). Keramické materiály vyrobené s použitím metody HIP mají méně dutin, pórů a dosahují vyšší tažnosti (až o 30%). [10]

Obr. 3.2 Dutiny a póry v keramice ZrO₂+Al₂O₃ [10]

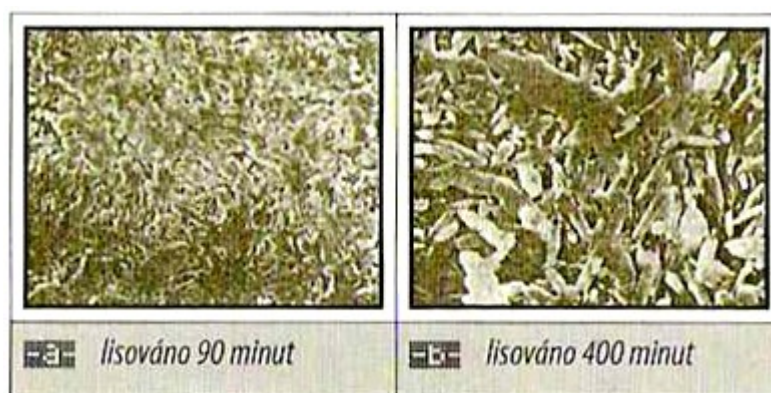
Součásti u metody HIP jsou stlačovány plynem rovnoměrně ve všech směrech na rozdíl od běžného tlakového slinování (mechanického), kde probíhá tlak v jednom směru. Existují dvě metody HIP. Jedna metoda „pouzdrová“ používá k výrobě nepropustné kapsle, ve kterých se prášek uloží, odplyní a slinuje. U druhé metody se slinuje již připravený hutný materiál bez použití kapsle. [10]

Tab. 3.1 Vliv HIP na mechanické vlastnosti keramik [10]

Vlastnost	Al_2O_3		ZrO_2		Si_3N_4	
	Před HIP	Po HIP	Před HIP	Po HIP	Před HIP	Po HIP
Relativní hustota [%]	97,5	99,8	98,3	99,7	95,7	99,7
Tvrdość [HRA]	93	93,7	90	91	92,5	93,5
Ohybová pevnost [MPa]	490	735	980	1568	980	1176
Lomová houževnatost [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$]	3	3,5	7,5	8	7	7,5

3.4 Nitridová řezná keramika

Skládá se z nitridu křemíku, který má dvě modifikace (α a β). Strukturu α - Si_3N_4 tvoří rovnoosé krystaly stejného tvaru, což způsobuje vyšší tvrdost, ale nižší lomovou houževnatost než má modifikace β - Si_3N_4 . Struktura β - Si_3N_4 má jemnozrnnou matici, ve které jsou rozptýlené protáhlé krystaly. Protáhlá zrna β více brání šíření trhlin a zvyšují lomovou houževnatost. [10]

Obr. 3.3 Struktura nitridické keramiky Si_3N_4 [8]

Při výrobě je slinování Si_3N_4 při atmosférickém tlaku obtížnější než u oxidových keramik z důvodu nízké samodifuze a teploty rozkladu. Z toho důvodu se při slinování a zhutňování používají oxidy kovů vytvářející s nitridem křemíku tekutou fázi při ohřevu (tekutá fáze urychluje přemísťování hmoty). Výsledná struktura má zrna Si_3N_4 obklopená většinou amorfní hraniční fází, která ovlivňuje výsledné vlastnosti materiálu. Pokud se zkrystalizuje hraniční fáze, tak to vede ke zlepšení mechanických vlastností. [10]

Nutnost použít technologie izostatického lisování odpadá u Sialonu, protože při slinování tohoto typu keramického materiálu dochází ke zhutňování (kompaktizaci) vzorku i v přítomnosti tekuté fáze a to i bez působení tlaku. [10]

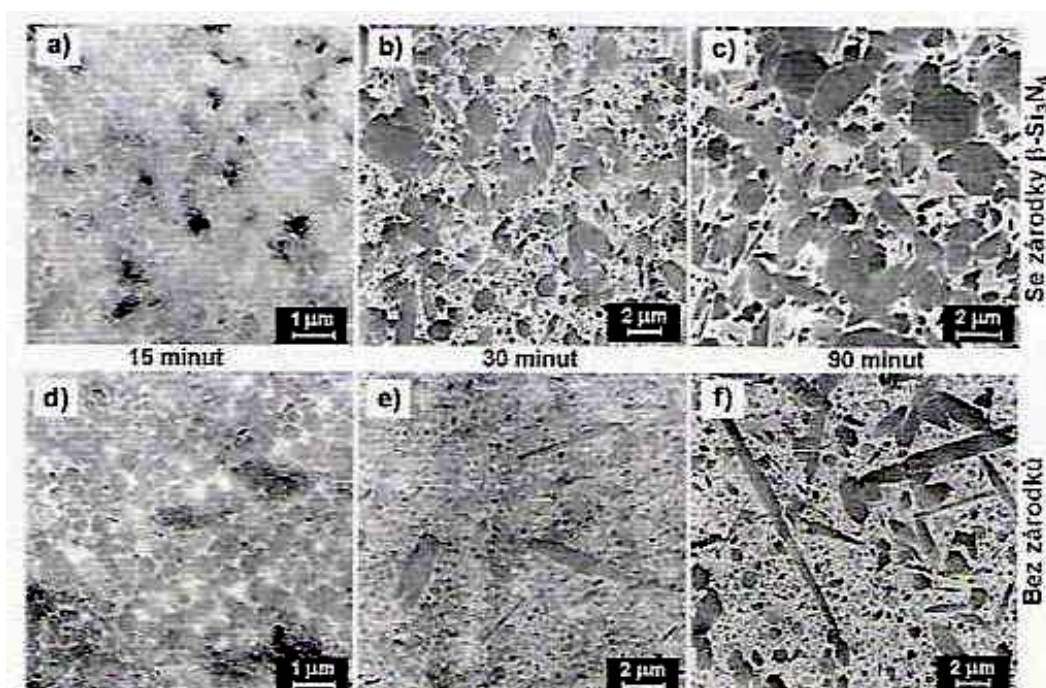
Dle způsobu výroby kompaktního tělesa můžeme dělit nitrid křemíku na:

- *reaktivně vázaný RBSN (Reaction Bonded Silicon Nitride)*
 - vyrábí se nitridací z kompaktního tělesa z prášku křemíku. Takto vyrobený nitrid je pórovitý, obsahuje méně než 85% teoretické hustoty materiálu a proto má mnoho nepříznivých vlastností. Nicméně výsledný materiál je velice čistý (bez cizích fází na hranicích zrn) a má relativně vysokou pevnost. [10]
- *slinutý SSN (Sintered Silicon Nitride)*
 - vyrábí se slinováním se zhutňujícími přísadami v dusíkové atmosféře. Materiál má vysokou hustotu, ale skrze přísadové fáze může mít ve vysokých teplotách zhoršené mechanické vlastnosti. U této metody se může slinovat bez použití tlaku a to umožňuje vyrábět různé tvary. [10]
- *lisovaný za vysokých teplot HPSN (Hot Pressed Silicon Nitride)*
 - vyrábí se horkým (žárovým) lisováním prášku Si_3N_4 (v lisovacích formách) se zhutňujícími přísadami v dusíkové atmosféře. Zhutňujících přísad je však zde mnohem méně než u běžného slinování. V lisovaném tělese získají zrna protáhlý tvar ($\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$). $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ je v procesu vysokoteplotního slinování hlavní fází, což znamená vysokou hustotu materiálu a vysoké hodnoty mechanických vlastností. U této metody jsou velmi omezené tvary výrobků (dané lisovací formou), stěna grafitové formy se musí izolovat od lisovaného materiálu, výrobní zařízení je složité a vznikají problémy při výrobě více kusů současně. [10]
- *vyrobený metodou HIP (Hot Isostatic Pressing)*
 - obdobný princip jako u oxidové keramiky. Používaný vysoký tlak u této metody umožňuje výrobu s menším množstvím přísad a díky tomu vzniká mikrostruktura s jemnějším zrnem a s menším

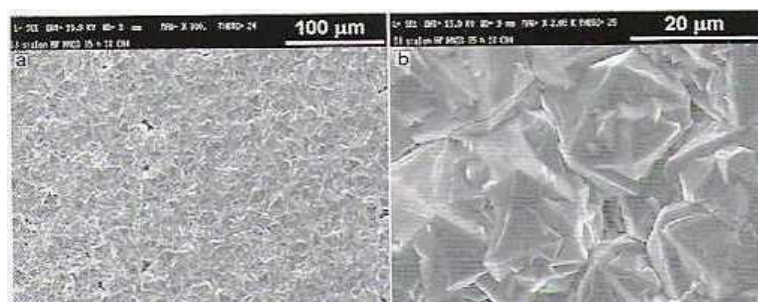
obsahem jiných fází. Nevýhodou této metody je to, že výchozí materiály mají otevřenou pórovitost a tudíž se musí před zpracováním obalit vícevrstevným nepropustným materiálem ve vakuu např. sklem, skelnými nebo keramickými prášky. Jako izolace mezi slinovaným materiálem a nepropustnou vrstvou se může použít např. prášek nitridu boru. Po skončení výroby se nepropustná vrstva odstraňuje chemicky nebo pískováním. [9]

Tab. 3.2 Základní druhy nitridu křemíku [9]

Druh	Hlavní fáze	Přísady	Další fáze po možné m tepelném zpracování
Reakčně vázaný nitrid křemíku	α - Si_3N_4 β - Si_3N_4	-	Si, Si_2ON_2 , FeSi_2 , CaO-MgO-SiO ₂
Slinutý nitrid křemíku, nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot	β - Si_3N_4	Al_2O_3 , MgO, Y_2O_3 , BeO, ZrO_2 , CeO ₂ , La_2O_5 , Sm_2O_3	Tuhé roztoky oxidů v Si_3N_4 , oxinitridy, skla, atd.
Si-Al-O-N	$\text{Si}_{6-x}\text{Al}_x\text{O}_x\text{N}_{8-x}$ $x=0,4$		-



Obr. 3.4 Mikrostruktura keramik Si_3N_4 vyrobených metodou HPSN [10]



Obr. 3.5 Diamantový povlak na sialonové keramice [10]

Tab. 3.3 Porovnání vybraných vlastností některých řezných keramik s jinými nástrojovými materiály [6]

Nástrojový materiál	Hustota $\rho [g \cdot cm^{-3}]$	Pevnost v tlaku $\sigma [GPa]$	Lomová houževnatost $K_{ic} [MPa \cdot m^{\frac{1}{2}}]$	Tvrdost dle Knoop $HK [GPa]^*$	Tepelná vodivost $\lambda \left[\frac{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}{100^\circ C} \right]$
Keramika Al_2O_3	3,91	4,00	2,33	16	22,7
Keramika Al_2O_3+TiC	4,28	4,50	3,31	17	16,7
SIALON	3,20	3,50	5,00	13	20 ÷ 25
Spékaný karbid K10	14,7	4,50	10,80	13	100
KNB	3,12	3,8	6,30	28	100
PKD	4,12	3,55	3,70	50	44

***Poznámka:** Tvrdost dle Knoop - jedná se o „vtlačování diamantového jehlanu kosočtvercovou základnou do testovaného materiálu. Zjišťuje se délka delší úhlopříčky a ta se převádí na hodnotu HK“. Tato zkouška mikrotvrdosti se používá pro křehké materiály a na rozdíl od zkoušky podle Vickerse trvá téměř 3x déle a je mělčí. [7]

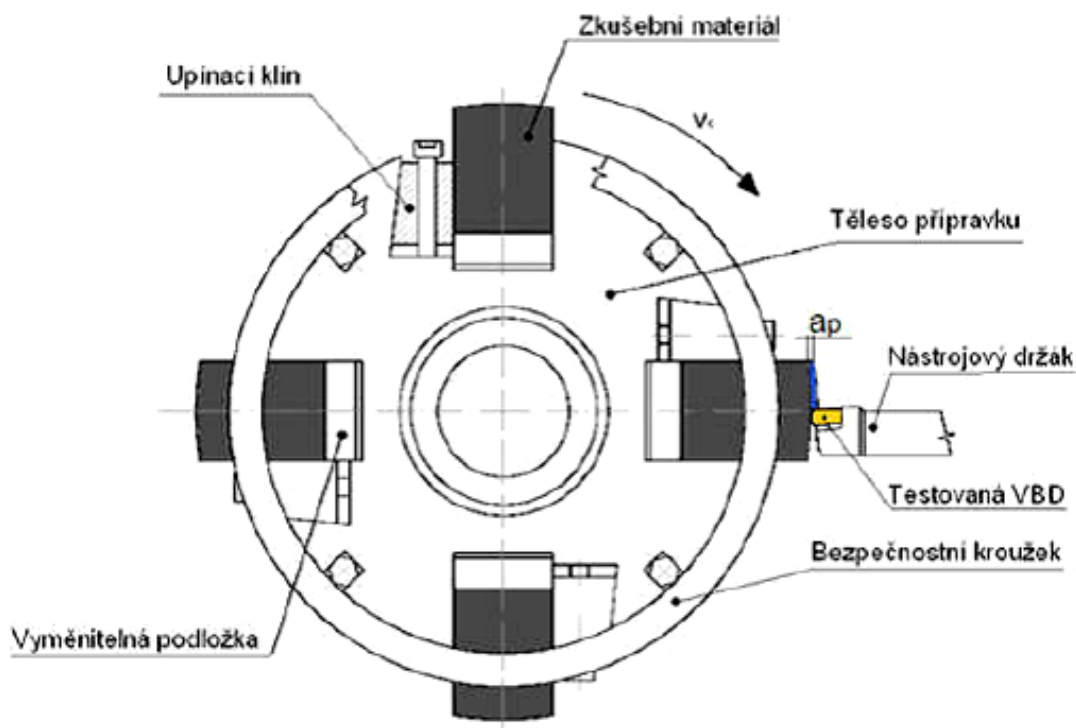
4. Experimentální měření

4.1 Testování VBD podélným soustružením

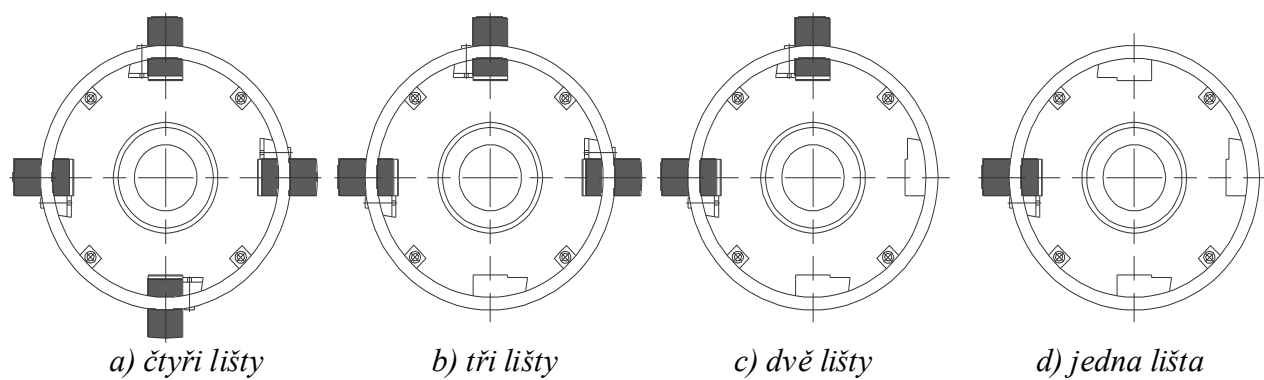
V tomto případě se jedná o tzv. „lišťový test“. Přípravek je válec, ve kterém jsou vyfrézované 4 drážky (60x48x600 mm) a do těchto drážek se vkládají lišty. Přípravek se upíná na jedné straně do sklíčidla a na druhé straně hrotem v pinole koníku.

Při zvyšování otáček vřetene dochází i k růstu odstředivé síly. Aby nedošlo k uvolnění lišt z přípravku, tak se lišty upínají pomocí upínacích klínů (4 klíny na jednu lištu) a vymezují se vyměnitelnými podložkami. Dalším ochranným prvkem je bezpečnostní kroužek na obou koncích přípravku.

Přípravek byl navrhnut pro řeznou rychlost v rozmezí $v_c = 120 \div 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ale byli jsme nuceni skrze působící vibrace použít nejvyšší rychlost $v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Při měření jsme kombinovali různý počet lišt (1 až 4), což způsobovalo odlišné vyvážení přípravku a tím i odlišnou házivost a vibrace.



Obr. 4.1 Schéma lišťového testu na použitém přípravku [3]



Obr. 4.2 Schéma použitých rozmístění lišt v přípravku



Obr. 4.3 Přípravek s vloženými lištami

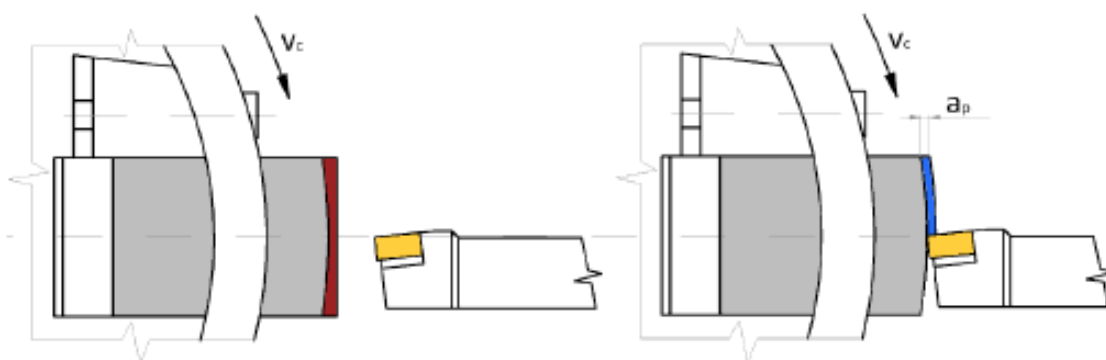


Obr. 4.4 Nově upnuté 2 lišty (bez úpravy) z materiálu 12 050

4.2 Příprava měření

Nejprve se upne přípravek, poté se do něj vloží podložky a lišty. Distanční podložky zajišťují obrábění na stále stejném průměru a tím i zajišťují konstantní řeznou rychlost. Lišty z testovaného materiálu se upnou klíny a následně se podložky vymezí dotáhnutím krajních šroubů. Klíny jsou (stejně jako drážky v přípravku) z jedné strany zešíkmeny. Utahováním šroubů se klíny odtlačují z drážky a tím přitlačnou silou utahují lišty. Po pevném upnutí se nasadí a upne bezpečnostní kroužek, který je umístěný na obou koncích přípravku a do něj je přišroubován čtyřmi šrouby.

Před měřením se musí provést zarovnání lišt odřezáním první hloubky třísky, aby se zaručil konstantní úběr třísky během testování. První (zarovnávací) tříska se do výsledku měření neuvádí. Zarovnání lišt napomáhá i vyvážení proti rozkmitání soustavy tím, že vzdálenost lišt od středu obrábění bude konstantní. [1]



Obr. 4.5 Schéma úpravy lišt před měřením [3]

4.3 Materiál vyměnitelných lišt

Materiály ocelových lišt pro testování VBD byly zvoleny 12 050 (C45) a 15 128 (13MoCrV6).

Ocel 15 128 je žároveňová, nízkolegovaná, feriticko-magnetická. Použití pro součásti energetických a chemických zařízení pracující ve vyšších teplotách (do 580°C). Vyniká dobrou odolností proti účinkům vodní páry a vodíku.

Tab. 4.1 Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6)

R _p 0,2 [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]
294	470-640	17	135-183	214

Tab. 4.2 Chemické složení v [%] oceli 15 128 (13MoCrV6)

C	Mo	Mn	Si	P	S	V	Cr	Al
0,1	0,4	0,45	0,15	Max	Max	0,22	0,5	0,025
-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	
0,18	0,6	0,7	0,4			0,35	0,75	

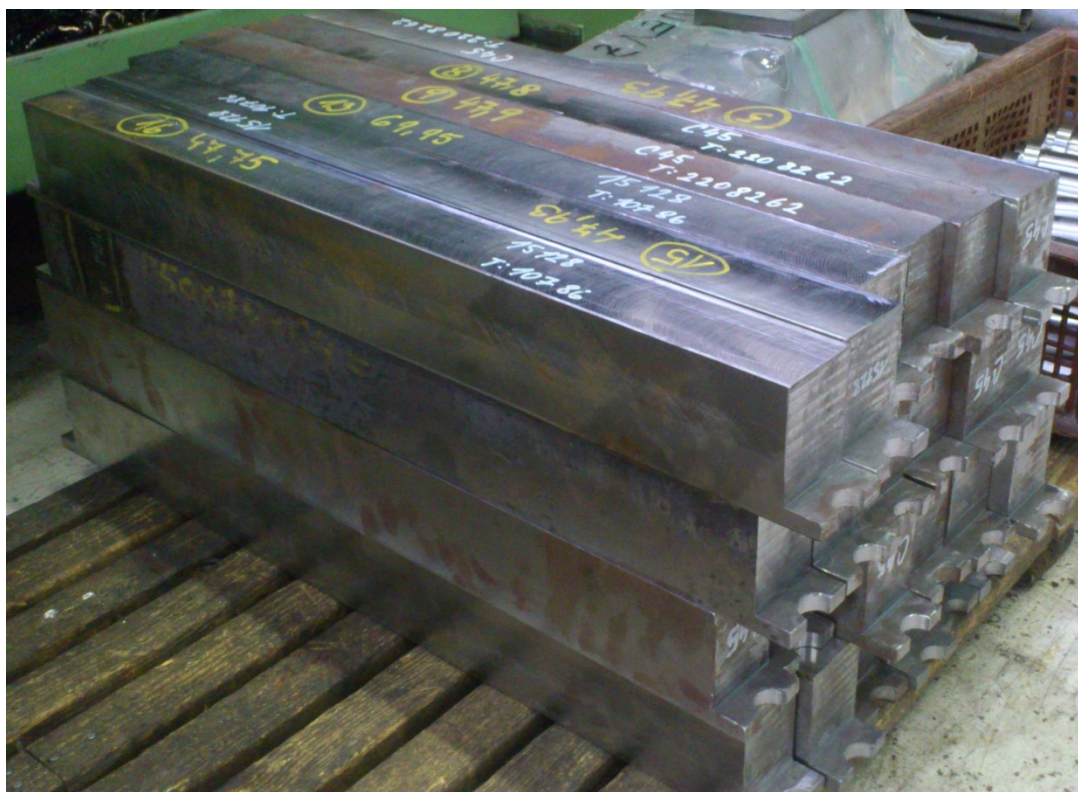
Ocel 12 050 je uhlíková ocel k zušlechťování, povrchovému kalení a pro velké výkovky. Uklidněná ocel je vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod., na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry lisů, písty kompresorů, čepy, šrouby, stavěcí rouby, dopravní válečky atd.

Tab. 4.3 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 (C45)

Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]	G [GPa]
min. 325	min. 540	min. 17	max. 225	211	79

Tab. 4.4 Chemické složení v [%] oceli 12 050 (C45)

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Cr
0,42	0,50	0,17	max.	max.	max.	max.	max.
-	-	-	0,04	0,04	0,30	0,30	0,25
0,50	0,80	0,37					



Obr. 4.6 Vyměnitelné ocelové lišty z materiálu 15 128 (13MoCrV6) a 12 050 (C45)

4.4 Obráběcí stroj

Měření probíhalo na univerzálním hrotovém soustruhu SN 55-71 též označován SN 55/1500 firmy TOS Trenčín. Soustruh se nachází ve výukových dílnách Žilinské Univerzity a náleží katedře obrábění a výrobní techniky (KOVt). Soustruh má oběžný průměr nad ložem 550 mm, vzdálenost mezi hroty 1500 mm a výkon hlavního elektromotoru 7,5 kW.

Soustruh CMM SLIVEN ve výukových dílnách VŠB-TU Ostrava nedostačoval pro měření především svojí stabilitou při tlumení vibrací během obrábění různých kombinací lišt v přípravku. Z toho důvodu experiment probíhal v dílně Žilinské Univerzity.



Obr. 4.7 Univerzální hrotový soustruh SN 55-71

4.5 Vyhodnocovací zařízení

K přiblížení a hodnocení byl použit stereomikroskop Zeiss Stemi DV4 s kamerou Zeiss AxioCam ERc 5s propojenou s počítačem. Program AxioVision v počítači umožňuje fotografovat kamerou a následné fotografie zpracovávat. Mikroskop má přibližovací faktor 4 (8x až 32x), pracovní vzdálenost 92 mm, pozorovací úhel 60 ° s nastavitelnou vzdáleností okulárů 55 až 75 mm, LED osvětlení bílým světlem. Mikroskop umožňuje velmi dobré zaostření v celém rozsahu přiblížení. VBD byly fotografovány s přiblížením 12x na čele a 8x na hřbetu.

Kamera Zeiss AxioCam ERc 5s připevněná k okuláru mikroskopu má rozlišení 5 Mpx, může ukládat snímky na SD paměťové karty nebo přenášet obraz přímo do počítače přes rozhraní USB, AV nebo pomocí DVI signálu. Fotografování lze tedy provádět přímo na kameře pomocí dvou tlačítek (jedno provádí automatické vyvážení bílé barvy a druhé pořizuje snímek) nebo přes dodávaný počítačový program AxioVision, ve kterém lze upravovat sytost barev, kontrast, jas apod.



Obr. 4.8 Stereo mikroskop Zeiss Stemi DV4 s kamerou Zeiss AxioCam ERc 5s

4.6 Testované VBD

Destičky pro měření jsme použili typu IS8 od firmy ISCAR. Nitridický typ IS8 je určen pro střední operace soustružení a frézování. Může se však použít i pro přerušované řezy litin a slitin na bázi niklu. Pracovní rozsah řezné rychlosti by měl být v rozmezí $v_c = 100 \div 1500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuv $f = 0,1 \div 1 \text{ mm}$. Normalizovaný tvar destiček byl zvolen SNGN 120712T. [11]

Aplikační skupina použití destičky IS8 dle ISO 513:2002 je K(K01-K20), P a M. Skupině K odpovídají materiály s krátkou drobivou třískou, především tedy litiny (temperovaná a s globulárním grafitem). Skupina P je určena pro obrábění materiálů s dlouhou třískou (uhlíkové oceli, slitinové a feritické nerezavějící oceli). Skupina M má univerzální použití, pro střední a delší třísku (lité oceli, nerezavějící austenitické a austeniticko-feritické oceli, tvárné litiny). [1]

Společnost ISCAR vyrábí unikátní a inovativní nástroje pro všechny aplikace třískového obrábění. Zakladatelem je Stef Wertheimer, který společnost založil v roce 1952. Po expanzi na zahraniční trhy se firma přesídlila do současné zóny TEFEN v západní Galilei. Nejmodernější sklady společnosti se nachází v severní Americe, Evropě a Asii. Pobočka v České republice se nachází v Plzni od roku 1992. [12]



Obr. 4.9 Testované VBD Iscar IS8

4.7 Řezné parametry

Před začátkem měření byly stanoveny řezné parametry podle výrobce VBD, podle zkušeností školitele a podle možností obráběcího stroje. Různé kombinace počtu lišt v přípravku způsobovali na stroji vibrace a z toho důvodu jsme byly nuceni snížit otáčky stroje a parametry omezit. V přípravku se obráběl průměr $D = 260 \text{ mm}$ a řezné parametry byly stejné pro oba druhy obráběného materiálu.

Tab. 4.5 Aplikované řezné parametry

Posuv f [mm]	0,2	0,32
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	204	
Otáčky n [min ⁻¹]	250	
Hloubka řezu a_p [mm]	1	

4.8 Řezná geometrie

Pro normalizovaný tvar destiček SNGN 120712T se použil nástrojový držák CSRNR 25x25M12-K a geometrie obrábění dle normy ISO 3685. Držák je určen pro vnější upnutí čtvercových keramických VBD.

Geometrie nástroje z řezné keramiky:

- Úhel čela $\gamma_0 = -6^\circ$
- Úhel hřbetu $\alpha_0 = 6^\circ$
- Úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$
- Úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 75^\circ$
- Úhel špičky $\varepsilon_r = 90^\circ$



Obr. 4.10 Použitý nástrojový držák CSRNR 25x25M12-K

5. Vyhodnocení experimentu

5.1 Obrobená délka a počet rázů

Při experimentu jsme měřili obrobenou délku svinovacím metrem (rozlišovací schopnost 1 mm), podle které se následně přepočítal počet rázů, který vydrželi VBD do jejich opotřebení. S roustoucí řeznou rychlostí a s rostoucím posuvem klesá počet vykonaných rázů. Limitním faktorem tedy bylo opotřebení VBD, které se projevilo vyložením břitu nebo křehkým porušením ostří. Vylovení břitu se projevilo okamžitě změnou zvuku obrábění, zvýšeným jiskřením z místa z řezu, zvýšenými vibracemi a okamžitou změnou drsnosti povrchu. Křehké porušování ostří se projevovalo postupně zhoršováním drsnosti povrchu a občasným zajiskřením.

Výpočet rázů:

$$R = \frac{n \cdot l}{f} \quad [-]$$

kde: R počet rázů $[-]$

n počet lišt v přípravku ($n = 1 \div 4$) $[-]$

l obrobená délka $[mm]$

f posuv nástroje $[mm]$

Příklad výpočtu:

$$R = \frac{n \cdot l}{f} = \frac{4 \cdot 2036}{0,2} = 40720 \quad [-]$$

5.2 Zpracování výsledků

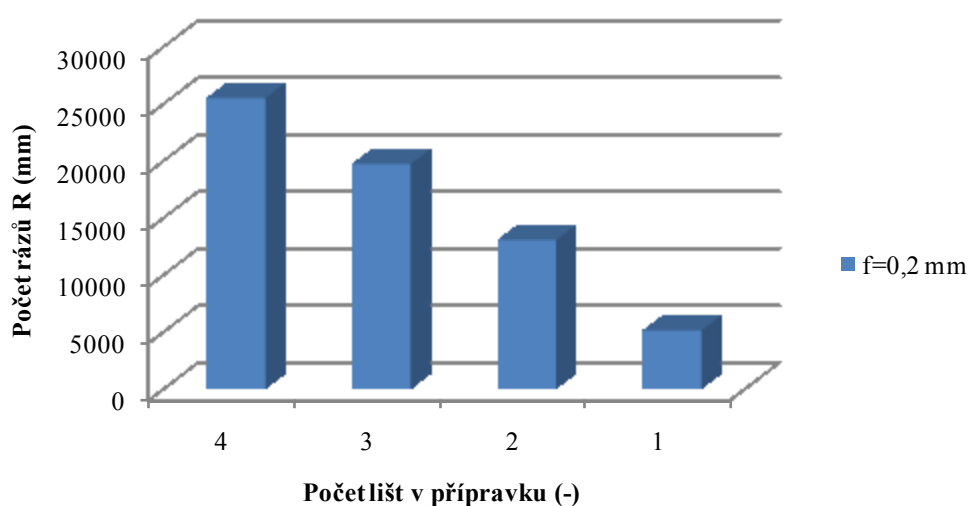
Destičky byli během měření pro lepší přehlednost popisovány číslicemi 1 až 8 v každém platu. Celkem byly použity dvě plata. Na každé destičce byly testovány tři hrany pro jiný počet lišt, jiný posuv a jiný materiál. VBD se značili tečkami (1 až 3). V následujících tabulkách jsou uvedeny naměřené hodnoty na každé hraně a v pravé části tabulky jsou spočítané průměry naměřených hodnot, které byli použity do grafů. Počet rázů je přepočítán z obrobené délky.

5.2.1 Výsledky hodnot naměřených na obráběném materiálu 15 128 (13MoCrV6)

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty na materiálu 15 128 při posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$

VBD IS8 Iscar		Materiál 15 128	$a_p = 1 \text{ [mm]}, v_c = 204 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$		Aritmetický průměr	
$f \text{ [mm]}$	$n [-]$	$l \text{ [mm]}$	$R [-]$	č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R [-]$
0,2	4	1250	25000	1	1276	25513
		1297	25940	2		
		1280	25600	3		
	3	1255	18825	4	1315	19725
		1332	19980	5		
		1358	20370	6		
	2	1330	13300	7	1305	13053
		1221	12210	8		
		1365	13650	9		
	1	963	4813	10	1026	5131
		1076	5380	11		
		1040	5200	12		

Porovnání rázů u lišt z materiálu 15 128



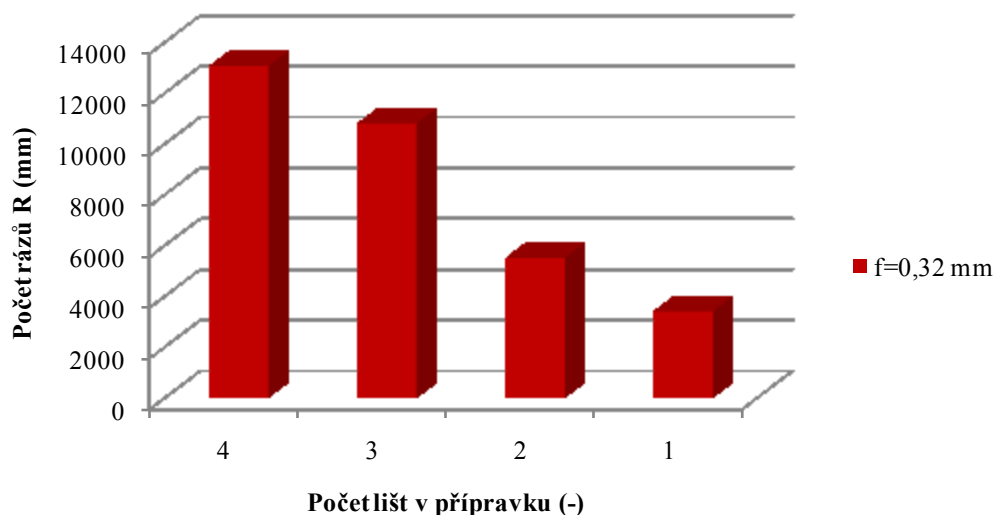
Obr. 5.1 Porovnání počtu rázů při posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ na materiálu 15 128

Z grafu na obr. 5.1 vyplývá, že nejvíce rázů snese nástroj při obrábění čtyř lišt v přípravku a nejméně naopak při obrábění jedné lišty. Pokles rázů je téměř přímkový. Dá se tedy předpokládat, že čím více lišt je v přípravku upnuto a obráběno, tím nástroj snese více rázů.

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty na materiálu 15 128 při posuvu $f = 0,32 \text{ mm}$

VBD IS8 Iscar		Materiál 15 128	$a_p = 1 \text{ [mm]}, v_c = 204 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$		Aritmetický průměr	
$f \text{ [mm]}$	$n \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$	č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
0,32	4	1005	12563	1	1045	13063
		1082	13525	2		
		1048	13100	3		
	3	1090	10219	4	1153	10806
		1227	11503	5		
		1141	10697	6		
	2	840	5250	7	879	5496
		864	5400	8		
		934	5838	9		
	1	1083	3383	10	1088	3401
		1047	3272	11		
		1135	3547	12		

Porovnání rázů u lišt z materiálu 15 128

Obr. 5.2 Porovnání počtu rázů při posuvu $f = 0,32 \text{ mm}$ na materiálu 15 128

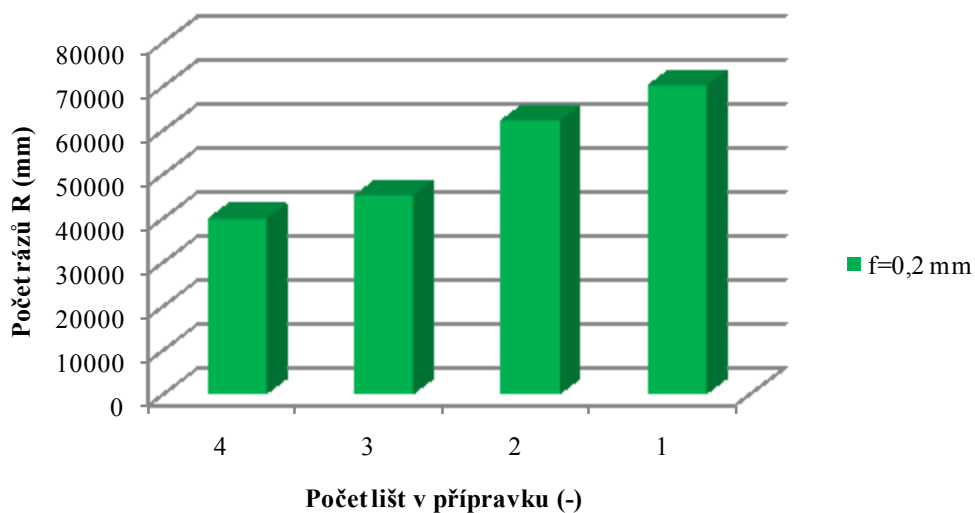
Na grafu na obr. 5.2 vidíme opět klesající počet rázů s odebíranými počty obráběných lišt v přípravku. Při obrábění dvou a jedné lišty došlo výraznému poklesu výdrže rázů oproti třem a čtyřem lištám.

5.2.2 Výsledky hodnot naměřených na obráběném materiálu 12 050 (C45)

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty na materiálu 12 050 při posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$

VBD IS8 Iscar		Materiál 12 050	$a_p = 1 \text{ [mm]}, v_c = 204 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$		Aritmetický průměr	
$f \text{ [mm]}$	$n [-]$	$l \text{ [mm]}$	$R [-]$	č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R [-]$
0,2	4	1940	38800	1	1989	39780
		2036	40720	2		
		1991	39820	3		
	3	2895	43425	4	3008	45125
		3074	46110	5		
		3056	45840	6		
	2	6255	62550	7	6215	62147
		6207	62070	8		
		6182	61820	9		
	1	14003	70013	10	14035	70174
		14173	70865	11		
		13929	69645	12		

Porovnání rázů u lišt z materiálu 12 050



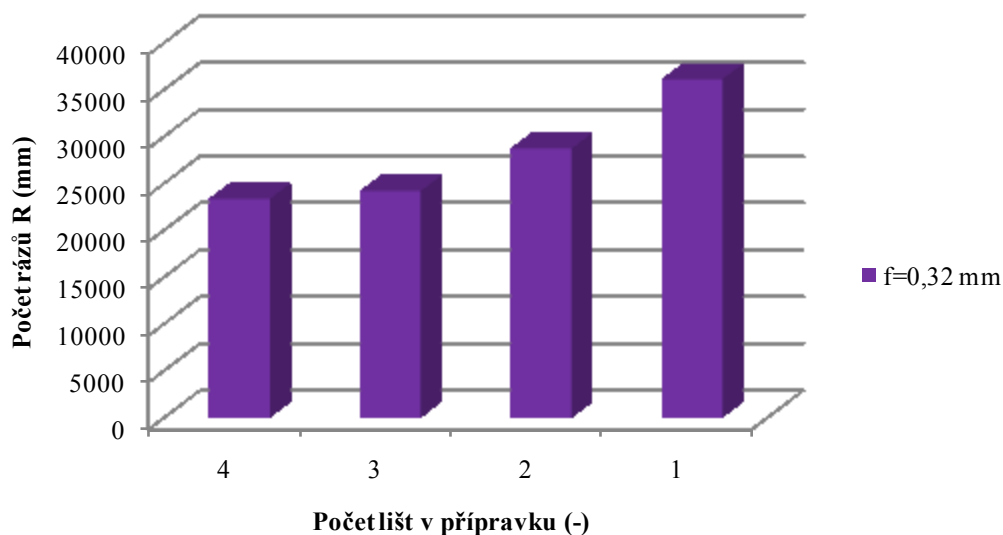
Obr. 5.3 Porovnání počtu rázů při posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ na materiálu 12 050

Graf na obr. 5.3 pro materiál 12 050 má opačný charakter než je tomu u materiálu 15 128. Nejméně rázů snesl nástroj při obrábění čtyř lišt a nejvíce při obrábění jedné lišty.

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty na materiálu 12 050 při posuvu $f = 0,32 \text{ mm}$

VBD IS8 Iscar		Materiál 12 050	$a_p = 1 \text{ [mm]}, v_c = 204 \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}]$		Aritmetický průměr	
$f \text{ [mm]}$	$n \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$	č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
0,32	4	1830	22875	1	1867	23342
		1857	23213	2		
		1915	23938	3		
	3	2575	24141	4	2577	24163
		2591	24291	5		
		2566	24056	6		
	2	4585	28656	7	4591	28692
		4510	28188	8		
		4677	29231	9		
	1	11153	34852	10	11551	36097
		11127	34772	11		
		12374	38669	12		

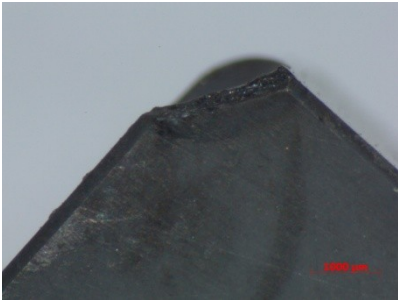
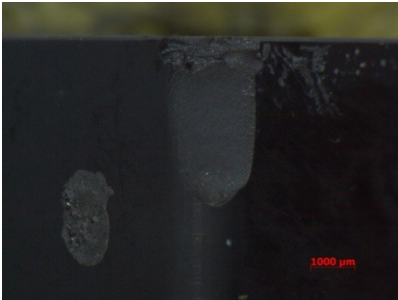

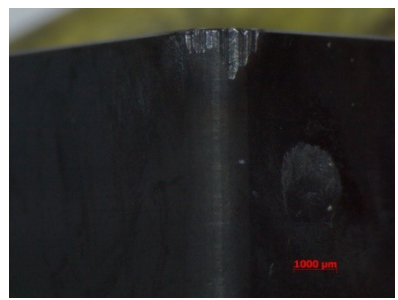
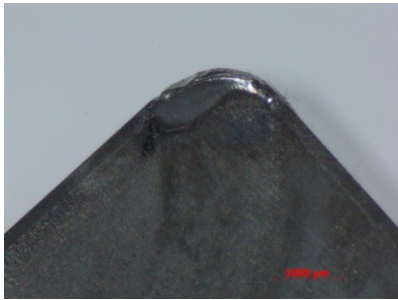
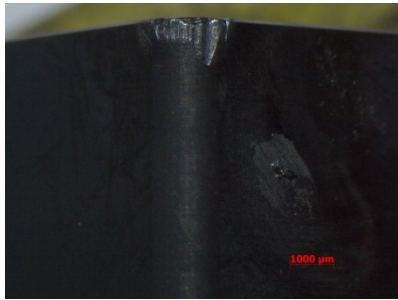
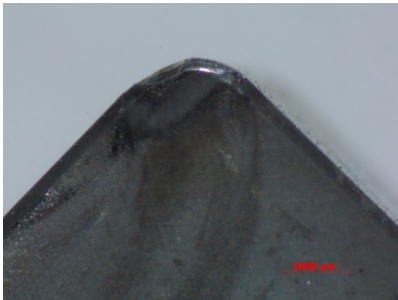
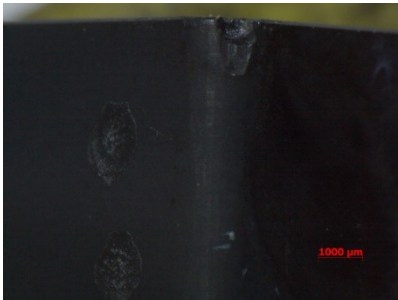
Porovnání rázů u lišt z materiálu 12 050

Obr. 5.4 Porovnání počtu rázů při posuvu $f = 0,32 \text{ mm}$ na materiálu 12 050


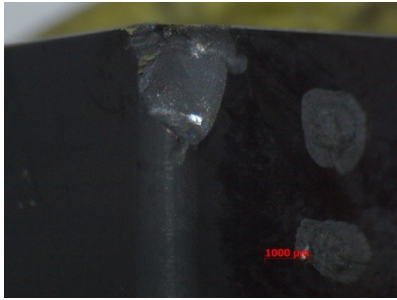

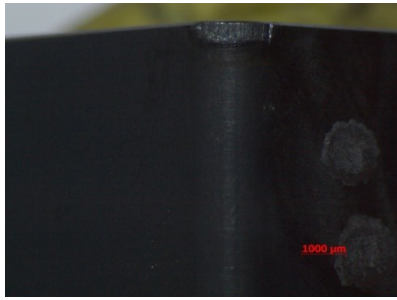
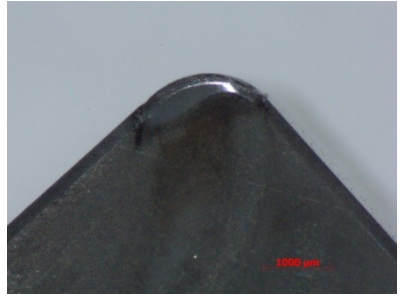
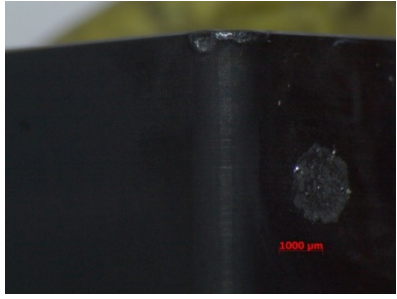
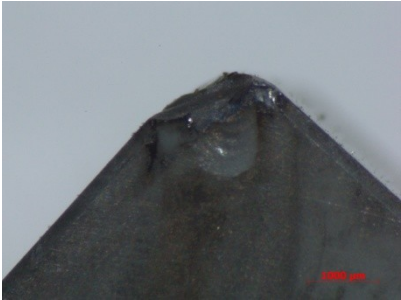

Z grafu na obr. 5.4 opět vidíme nárůst počtu rázů s odebráním počtu obráběných lišt v přípravku. Rozdíl rázů u lišt 4 a 3 není tak patrný jako u lišt 2 a 1.

5.4 Fotografie opotřeбенých VBD

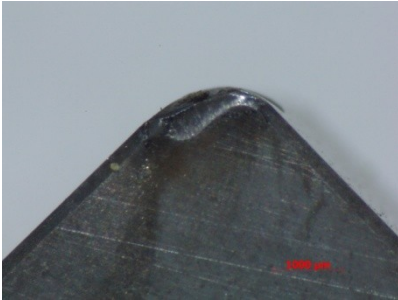
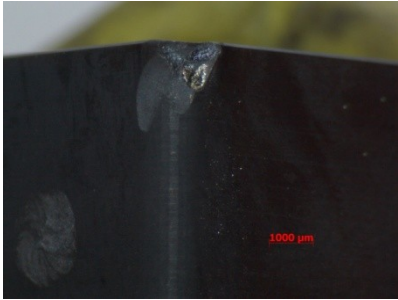
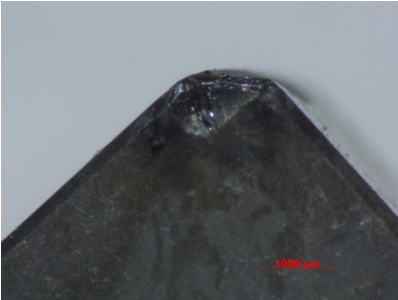
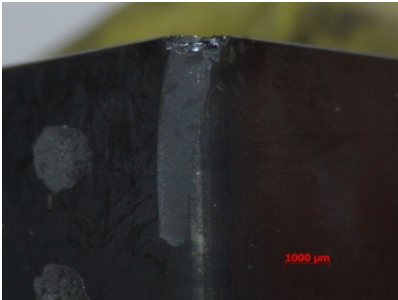
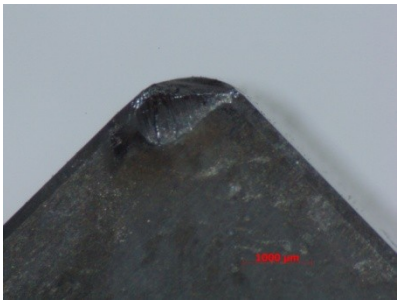
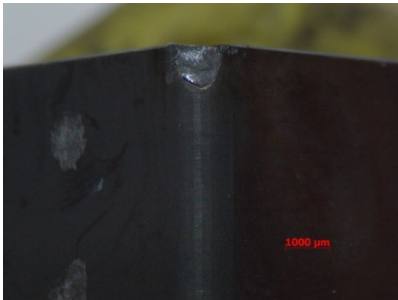
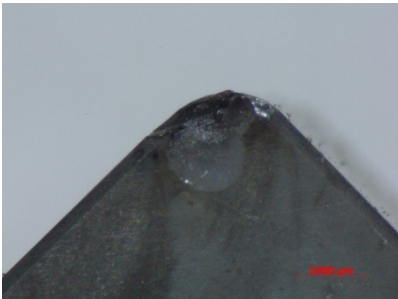

Tab. 5.5 Fotografie a řezné parametry opotřeбенých VBD IS8 č.1-4 na materiálu 15 128

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8, č.1 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 4 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.2 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 4 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.3 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 3 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.4 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 3 [-]$ Materiál: 15 128		

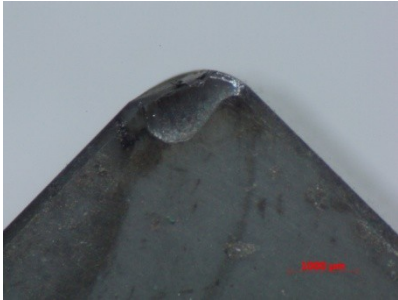
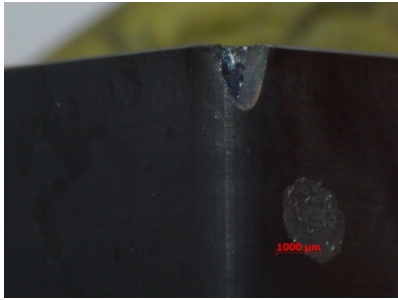
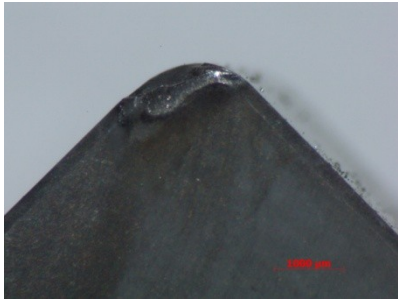
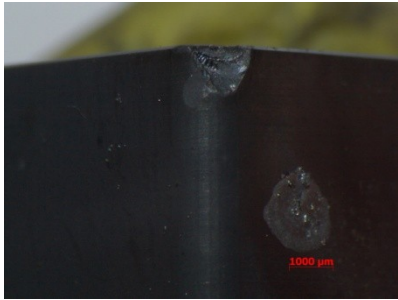
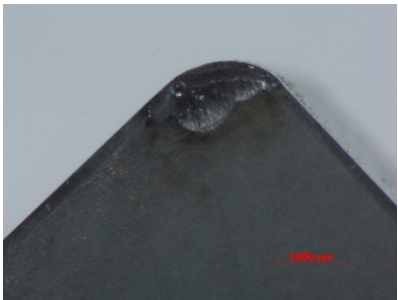

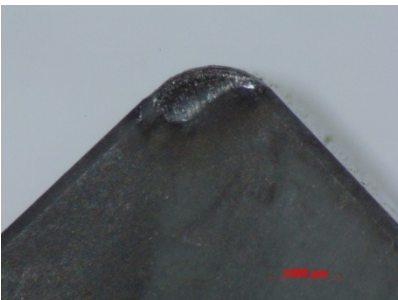
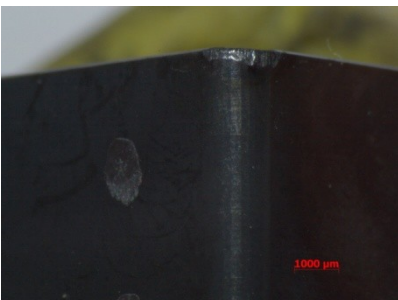
Tab. 5.5 Fotografie a řezné parametry opotřebovaných VBD IS8 č.5-8 na materiálu 15 128

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8, č.5 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 2 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.6 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 2 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.7 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 1 [-]$ Materiál: 15 128		
IS8, č.8 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 1 [-]$ Materiál: 15 128		

Tab. 5.5 Fotografie a řezné parametry opotřebovaných VBD IS8 č.1-4 na materiálu 12 050

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8, č.1 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 4 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.2 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 4 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.3 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 3 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.4 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 3 [-]$ Materiál: 12 050		

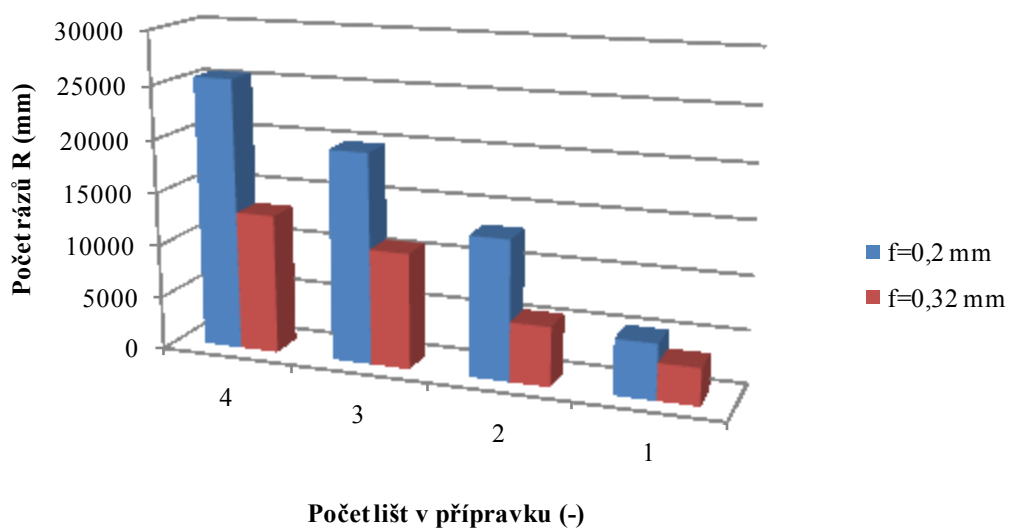
Tab. 5.5 Fotografie a řezné parametry opotřeбенých VBD IS8 č.5-8 na materiálu 12 050

VBD, řezné parametry	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8, č.5 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 2 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.6 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 2 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.7 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,32 [mm]$ $n = 1 [-]$ Materiál: 12 050		
IS8, č.8 $v_c = 204 [m \cdot \min^{-1}]$ $a_p = 1 [mm]$ $f = 0,2 [mm]$ $n = 1 [-]$ Materiál: 12 050		

6. Porovnání a zhodnocení testovaných VBD a materiálů

V následujících grafech jsou porovnány počty rázů při obou posuvech, u všech variant počtu lišt a u každého materiálu zvlášť.

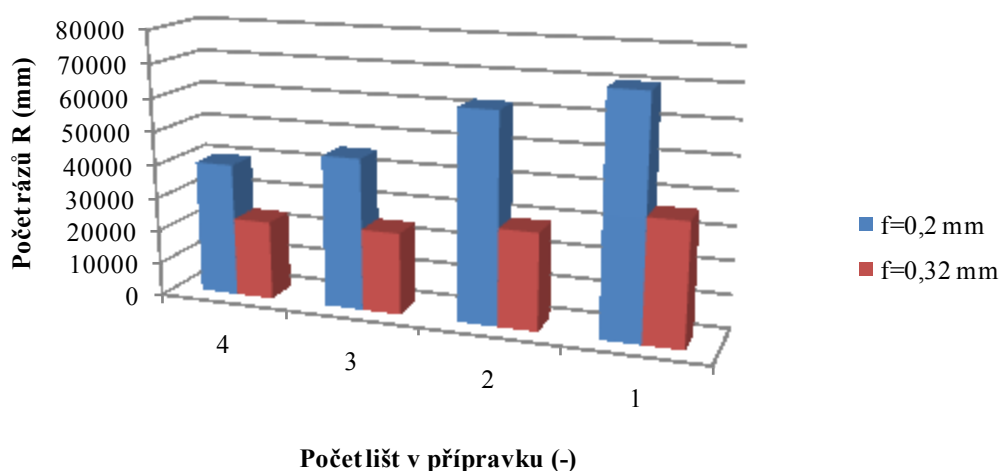
Porovnání rázů u materiálu 15 128



Obr. 6.1 Srovnání výdrže rázů u materiálu 15 128 při obou posuvech

V grafu na obr. 6.1 vidíme, že při posuvu $f = 0,32 \text{ mm}$ jsou hodnoty počtu rázů téměř poloviční než u posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$. Vyjimku tvoří hodnoty při testování jedné lišty, kde rozdíl vykonaných rázů není tak velký jako u zbylých variant.

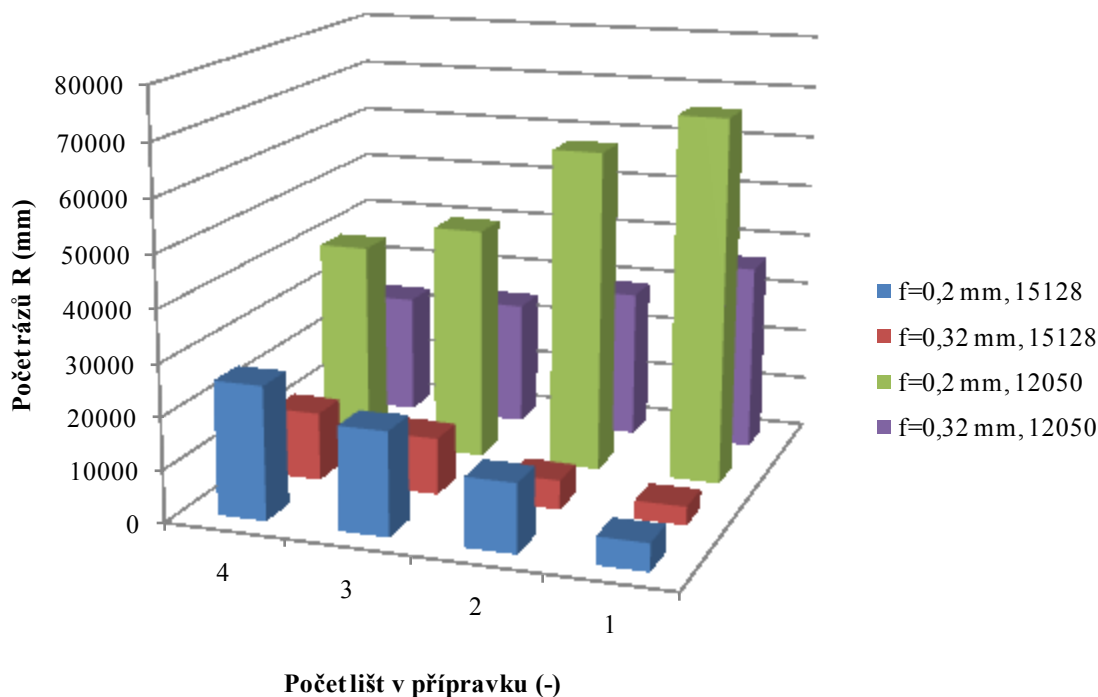
Porovnání rázů u materiálu 12050



Obr. 6.2 Srovnání výdrže rázů u materiálu 12 050 při obou posuvech

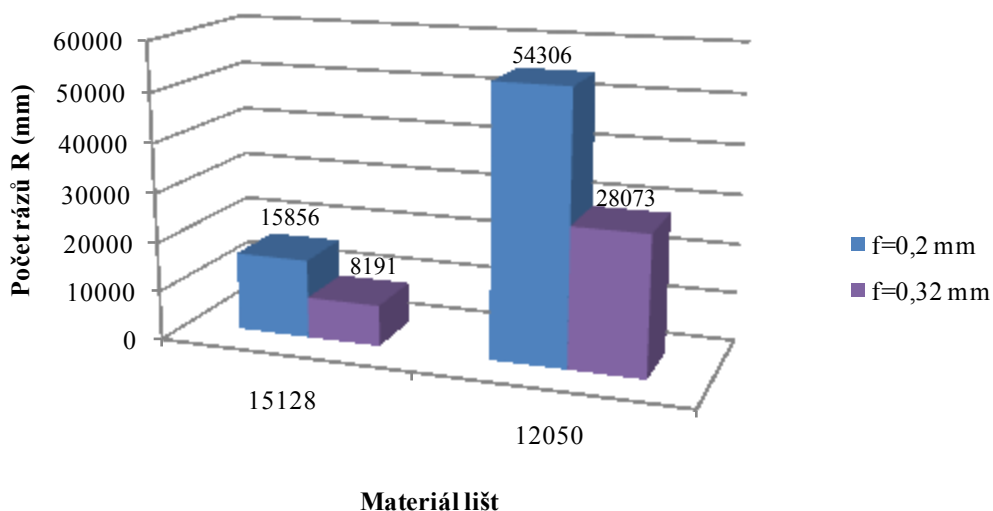
Hodnoty rázů v grafu na obr. 6.2 pro materiál 12 050 pro posuv $f = 0,32 \text{ mm}$ opět dosahují téměř poloviční hodnoty oproti posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$, ale opačného charakteru než u materiálu 15 128, kde počet rázů roste s počtem obráběných lišt a zde počet rázů klesá s počtem obráběných lišt.

Porovnání rázů u obou materiálů



Obr. 6.3 Srovnání výdrže rázů u obou materiálů a obou posuvech

Porovnání průměrné výdrže rázů



Obr. 6.4 Srovnání celkové průměrné výdrže rázů u obou materiálů a obou posuvech

S hromadného a celkového průměrného porovnání na obr. 6.3 a 6.4 vidíme, že u materiálu 12 050 VBD při stejných podmínkách jako u materiálu 15 128 snese mnohem více rázů a to až trojnásobně. VBD z řezné keramiky typ IS8 od výrobce Iscar jsou tedy vhodnější pro soustružení v přerušovaném řezu na materiálu 12 050. Posuv $f = 0,2\text{ mm}$ oproti posuvu $f = 0,32\text{ mm}$ prodlouží životnost VBD až o polovinu.

7. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na testování vyměnitelných břitových destiček (VBD) z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu, který byl zkonstruován na VŠB-TU Ostrava na katedře obrábění a montáže v rámci projektu GAČR. Nitridové VBD z řezné keramiky typu IS8 byly použity od firmy Iscar. VBD se upínali do nástrojového držáku typu CSRNR 25x25M12-K a byly testovány na materiálu oceli 12 050 (C45) a 15 128 (13MoCrV6). Z těchto materiálů byly vyrobeny vyměnitelné lišty, které se v přípravku testovaly podélným soustružením. Jako obráběcí stroj byl použit univerzální hrotový soustruh SN 55-71 ve výukových dílnách Žilinské Univerzity skrze větší stabilitu a tím i menší vibrace při rotaci nevyváženého přípravku během upnutí především dvou lišt.

Testy se prováděly u každého materiálu zvlášť při kombinaci upnutých lišt 1 až 4 a střídavě u posuvu $f = 0,2\text{ mm}$ a $f = 0,32\text{ mm}$. Hloubka třísky byla stále konstantní $a_p = 1\text{ mm}$. Maximální otáčky stroje při testování $n = 250\text{ min}^{-1}$ byly stanoveny též podle stability stroje při rotaci přípravku se dvěma upnutými lištami, kdy byly vibrace největší. Řezná rychlost při těchto otáčkách byla $v_c = 204\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Sledovaným parametrem byl počet rázů $R[-]$, který se přepočítával podle obrobené délky na obráběných lištách z daného materiálu. Sledoval se maximální počet rázů, které VBD vydrží do svého opotřebení. Počet rázů klesal se zvýšeným posuvem z $f = 0,2\text{ mm}$ na $f = 0,32\text{ mm}$ až o polovinu.

Výsledky z měření byly zapsány do tabulek, ze kterých se vykreslily grafy skrze přehlednější porovnání výsledných hodnot. U materiálu 15 128 klesal počet rázů při odebrání počtu lišt upnutých v přípravku. Nejvíce rázů vydržel nástroj při čtyřech upnutých lištách, a to $R = 25513 [-]$ při posuvu $f = 0,2\text{ mm}$ a $R = 13063 [-]$ při $f = 0,32\text{ mm}$. Nejméně rázů $R = 5131 [-]$ vydržel nástroj při obrábění jedné lišty při posuvu $f = 0,2\text{ mm}$ a $R = 3401 [-]$ při $f = 0,32\text{ mm}$. Při obrábění materiálu 12 050 naopak počet rázů při odebrání počtu upnutých lišt v přípravku rostl. Nejméně tedy vydržel nástroj při obrábění čtyř lišt v přípravku $R = 39780 [-]$ při posuvu $f = 0,2\text{ mm}$ a $R = 23342 [-]$ při posuvu $f = 0,32\text{ mm}$. Nejvíce rázů vydržel nástroj při jedné upnuté lišti, a to $R = 70174 [-]$ při posuvu $f = 0,2\text{ mm}$ a $R = 36097 [-]$ při $f = 0,32\text{ mm}$.

K hodnocení opotřebovaných VBD byl použit stereomikroskop Zeiss Stemi DV4, ke kterému byla připojena kamera Zeiss AxioCam ERc 5s. Kamera byla propojena s počítačem a spolupracovala s počítačovým programem AxioVision. VBD se kamerou

přiblížili, zaostřili a přes program AxioVision vyfotografovali. Přiblížení mikroskopu bylo u čela VBD 12x a na hřbetě 8x. Jako opotřebení bylo vyhodnoceno vylomení ostří téměř ve všech případech. U materiálu 15 128 docházelo i ke křehkému porušování řezné hrany.

Měření ukázalo vhodnější použití keramických VBD IS8 od firmy Iscar pro materiál 12 050. U tohoto materiálu VBD vydrželi až trojnásobek rázů a měli lepší kvalitu obrobené plochy, kterou nástroj ve většině případů udržoval až do vylomení ostří. Kromě lepší kvality obrobené plochy nevznikali u lišt otřepy oproti materiálu 15 128, kde byli otřepy značné.

Přestože materiál 12 050 je pro obrábění VBD IS8 vhodnější, vydrželi VBD u obou materiálů velké množství rázů. Z toho důvodu můžeme říci, že VBD IS8 jsou vhodné pro použití do podmínek přerušovaného řezu, přesto však doporučuji používat snížené řezné parametry (především posuv a hloubku řezu), které prodlouží jejich životnost.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

8. Použitá literatura

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [2] HOUDEK, Josef. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům* [online]. MM Průmyslové spektrum, 4/2004 [cit 29.3.2013]. URL: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum.html>>.
- [3] ZÁLEŠÁK, M. Vliv tepelných a mechanických rázů na stav ostří při obrábění přerušovaným řezem. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2012. 56 s.
- [4] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění- 1. část*. Soubor v pdf. Brno : VUT Brno, 2003. 138 s.
- [5] Pramet. Příručka obrábění, 2004. Soubor v pdf [cit. 7.4.2013]. 101 s. URL: <http://www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka_cz.pdf>
- [6] BEŇO, Jozef. *Teória rezania kovov*. Košice: Strojnícka fakulta TU Košice, 1999. 255 s. ISBN 80-7099-429-0.
- [7] BUREŠ, Jiří. Converter - převody jednotek [cit. 15.4.2013]. URL: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-knoop.htm>>
- [8] JURKO, Josef; ZAJAC, Josef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část - Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [9] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB spol., s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN: 80-85825-10-4.
- [10] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, s.r.o. Praha, 2008. 235 s. ISBN: 978-80-254-2250-2.

- [11] Iscar. Stupně použití řezných nástrojů. Soubor v pdf. [cit. 10.5.2013]. 1 s. URL:
< http://www.iscar.com/Ecat/en/iscar_grade_chart.pdf>
- [12] Iscar. Informace o firmě [online]. [cit. 10.5.2013]. URL:
< <http://www.iscar.cz/newarticles.aspx/countryid/6/newarticleid/790>>